



AGRICULTURE, TECHNICAL AND APPLIED SCIENCES: MAIN PROBLEMS AND SOLUTIONS

Collective monograph

ISBN 979-8-89692-734-1

DOI 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1

BOSTON(USA)-2025

ISBN – 979-8-89692-734-1

DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1

*Agriculture, technical and
applied sciences: main problems
and solutions*

Collective monograph

Boston 2025

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-89692-734-1

DOI – 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1

Authors – Reznichenko V., Kolomiets L., Kornicheva H., Вінюков О., Бондарева О., Гавриш С., Ліхушин С., Савчук О., Приймачук Т., Меша К., Штанько Т., Цуман Н., Hladyshev D., Brodskiy M. Табака І.П., Гнат Г.О., Тимофеева Л., Сергеев О., Роценко О., Khvalin D., Сачанюк-Кавецька Н., Cherniuk A., Brovko K., Vasiuchenko P., Oliinyk Y., Kaplin M., Makarov V., Perov M., Bilan T., Shcherbyna Y., Menchynska A., Ivaniuta A., Ochkolyas O., Kharsika I., Nesterenko N., Nechyporuk M., Luzhetskyi V., Romanyuk O., Богомазов С., Дмитрієва О.І., Куш А.А., Литвиненко О.І., Возниця А.С., Кашкевич С.О., Ляшенко Г.Т., Дубовик Т., Становська І.І., Возниця А.С., Шапошнікова О.П., Маций О.Б., Дорофеев М.В., Мовмуга N., Demidova Y., Котенко К.Е., Клименко М.О. Сироватка В., Шелудько В., Савчук І., Ковальова С., Рубан І., Тимошенко З.

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 © 2025 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2025 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.

AGRICULTURE, TECHNICAL AND APPLIED SCIENCES: MAIN PROBLEMS AND SOLUTIONS

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:

Agriculture, technical and applied sciences: main problems and solutions: collective monograph / Reznichenko V., Kolomiets L., Kornicheva H. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2025. 511 p. Available at : DOI – 10.46299/ ISG.2025.MONO.TECH.1

TABLE OF CONTENTS

1.	AGRONOMY	
1.1	Reznichenko V. ¹ , Kolomiets L. ² , Kornicheva H. ¹ ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CONDITIONS FOR RESTORING SOIL ENVIRONMENT THROUGH LEGUMES ¹ Department of Geoponics, Central Ukrainian National Technical University, Ukraine ² Department of Ecology, Environmental Protection and Healthy Lifestyle, Central Ukrainian National Technical University, Ukraine	10
1.1.1	ECOLOGICAL PROBLEMS OF REPRODUCTION OF SOIL FERTILITY IN AGROECOSYSTEMS	11
1.1.1.1	IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES ON AGROECOSYSTEMS	11
1.1.1.2	MAIN FACTORS OF SOIL FORMATION ON AGRICULTURAL LAND	15
1.1.1.3	GREENING AND IMPROVING SOIL FERTILITY THROUGH LEGUMES	17
1.1.2	PLACE AND CONDITIONS OF THE RESEARCH	23
1.1.3	RESEARCH RESULTS AND ANALYSIS	25
1.1.3.2	ECOLOGICAL SUBSTANTIATION FOR GROWING PULSES	29
1.1.3.3	ECOLOGICAL IMPACT OF THE STUDIED CROPS ON AGROECOLOGICAL INDICATORS OF SOIL	37
1.2	Вінюков О. ¹ , Бондарева О. ¹ , Гавриш С. ¹ , Ліхушин С. ¹ ОСОБЛИВОСТІ АГРОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЕСПАРЦЕТУ ЗА СІВБИ ВЛІТКУ В СТЕПУ УКРАЇНИ ¹ Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН України	46
1.3	Савчук О. ¹ , Приймачук Т. ¹ , Меша К. ¹ , Штанько Т. ¹ , Цуман Н. ² ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА В ЗОНІ ПОЛІССЯ ¹ Відділ наукових досліджень з питань інтелектуальної власності, маркетингу інновацій, Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна ² Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир, Україна	63
1.3.1	ВПЛИВ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ В КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ ЗЕРНО-ПРОСАПНІЙ СІВОЗМІНІ НА ВРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР, ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ ТА РОДЮЧІСТЬ ДЕРНОВОГО ОГЛЕСНОГО ҐРУНТУ	64
1.3.2	АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ОРГАНІЧНОЇ ЗЕРНОВОЇ СІВОЗМІНИ НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ	69

2. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION		
2.1	Hladyshev D. ¹ , Brodskyi M. ¹ APPLICATION OF VERTICAL RIBS IN WALLS FOR STRENGTHENING BUILDINGS AND STRUCTURES ¹ Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University	76
2.2	Табака І.П. ¹ , Гнат Г.О. ¹ ВЕРТИКАЛЬНЕ ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ: ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ¹ кафедра архітектурного проектування та інженерії, Національний університет «Львівська політехніка»	85
3. DEVICES		
3.1	Тимофєєва Л. ¹ , Сергєєв О. ¹ , Роценко О. ¹ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ МІКРОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ У ЛАБОРАТОРІЯХ ¹ "Інженерія вагонів та якість продукції" Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна	96
3.1.1	ВСТУП	96
3.1.2	НЕДОЛІКИ	97
3.1.3	МЕТА РОБОТИ	97
3.1.4	ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ	97
3.1.5	ВПЛИВ КАЛІБРУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ	98
3.1.6	УМОВИ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ КАЛІБРУВАННІ	102
3.1.7	ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ У ЛАБОРАТОРІЯХ	103
3.1.8	ВИСНОВКИ	105
4. ELECTRICAL ENGINEERING		
4.1	Khvalin D. ¹ THE HEAT PROCESSES IN A POWERFUL TURBOGENERATOR ¹ Department of Nuclear Facility Safety, Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, Chornobyl, Ukraine	106
5. ELECTRONICS		
5.1	Сачанюк-Кавецька Н. ¹ СХЕМОТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙ НАД ЛОГІКО-ЧАСОВИМИ ФУНКЦІЯМИ ¹ кафедра вищої математики, Вінницький національний технічний університет	142

6. ENERGY		
6.1	Cherniuk A. ¹ , Brovko K. ¹ , Vasiuchenko P. ¹ , Oliinyk Y. ¹ DIGITAL DOUBLES AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN THE TRAINING OF NPP OPERATORS ¹ Department of Electrical Engineering and Electric Power Industry, V. N. Karazin Kharkiv National University	177
6.1.1	DIGITAL DOUBLES AS A SIMULATOR TOOL	178
6.1.2	COMPLEX STRUCTURAL AND FUNCTIONAL DIAGRAM OF INTERACTION OF DIGITAL TWIN WITH NPP OPERATOR	179
6.1.3	DEVELOPMENT OF LEARNING ALGORITHM STAGES BASED ON THE OBTAINED SIMULATION DATA	181
6.2	Kaplin M. ¹ , Makarov V. ¹ , Perov M. ¹ , Bilan T. ¹ , Shcherbyna Y. ¹ FUEL SUPPLY SYSTEM AS AN OBJECT OF FLOW AND ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING ¹ General Energy Institute of NAS of Ukraine, Kyiv	187
7. FOOD AND LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGY		
7.1	Menchynska A. ¹ , Ivaniuta A. ¹ , Ochkolyas O. ¹ , Kharsika I. ¹ , Nesterenko N. ² IMPROVING THE TECHNOLOGY OF SHRIMP MOUSSE PRODUCTS ¹ Department of Meat, Fish and Seafood Technology, Faculty of Food Technology and Quality Control of Agricultural Products, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine ² Department of Commodity Science and pharmacy, Faculty of Trade and Marketing, State University of Trade and Economics/ Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine	194
8. INFORMATICS, COMPUTING AND AUTOMATION		
8.1	Nechyporuk M. ¹ , Luzhetskyi V. ¹ , Romanyuk O. ² ACCELERATED ENCRYPTION OF GRAPHIC IMAGES ¹ Department of Information Protection, Vinnytsia National Technical University ² Department of Software, Vinnytsia National Technical University	218
8.2	Богомазов С. ¹ РЕАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ МОДУЛІВ НА БАЗІ МАЛОРОЗРЯДНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ¹ Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	232

8.3	<p>Дмитрієва О.І.¹, Куш А.А.¹, Литвиненко О.І.², Возниця А.С.³, Кашкевич С.О.³, Ляшенко Г.Т.⁴</p> <p>СУКУПНІСТЬ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ</p> <p>¹ Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна ² Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна ³ Державне некомерційне підприємство Державний університет “Київський авіаційний інститут”, м. Київ, Україна ⁴ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна</p>	272
8.3.1	<p>РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОПУЛЯЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ</p>	272
8.3.2	<p>МЕТОД ОЦІНКИ ОПЕРАТИВНОСТІ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ</p>	280
8.3.3	<p>МЕТОД ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ</p>	286
8.4	<p>Дубовик Т.¹</p> <p>КОМП’ЮТЕРНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЬ</p> <p>¹ кафедра спеціалізованих комп’ютерних систем, Український державний університет науки і технологій ННІ УДХТУ (Дніпро, Україна)</p>	306
8.5	<p>Становська І.І.¹, Возниця А.С.², Шапошнікова О.П.³, Маций О.Б.⁴, Дорофєєв М.В.⁵</p> <p>НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ АПАРАТ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</p> <p>¹ Одеський національний університет “Одеська політехніка”, м. Одеса, Україна ² Державне некомерційне підприємство Державний університет “Київський авіаційний інститут”, м. Київ, Україна ³ Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна ⁴ Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна ⁵ Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки м. Чернігів, Україна</p>	325
8.5.1	<p>ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ</p>	325

8.5.2	МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ ДАНИХ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ	328
8.5.3	МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В АСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	336
8.5.4	УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА НАСТРОЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В АСУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	339
9.	LIFE SAFETY	
9.1	<p>Мовмыга N.¹, Demidova Y.²</p> <p>SAFETY CULTURE AS A NEW PRINCIPLE OF SAFETY MANAGEMENT</p> <p>¹ Department of Occupational and Environmental Safety, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine</p> <p>² Department of Pedagogy and Psychology of Social Systems Management, National technical university «Kharkiv polytechnic institute», Kharkiv, Ukraine</p>	353
9.1.1	PERSONAL AND SOCIAL SAFETY CULTURE: FORMATION IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN MODERN CONDITIONS	353
9.1.1.1	PERSONAL AND SOCIAL SAFETY CULTURE: BASIC CONCEPTS	353
9.1.1.2	THE MAIN STRUCTURAL COMPONENTS OF PERSONAL AND SOCIAL SAFETY CULTURE	356
9.1.1.3	FORMATION OF SAFETY CULTURE IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS (IN MODERN CONDITIONS)	364
9.1.1.4	PEDAGOGICAL ASPECT OF FORMING A SAFETY OF ACTIVITY	371
9.1.2	FORMATION OF A CULTURE OF WORK SAFETY AT A MANUFACTURING ENTERPRISE	382
9.1.2.1	MODERN TRENDS IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT AT AN ENTERPRISE	382
9.1.2.2	CULTURE OF OCCUPATIONAL SAFETY IN LABOR PROTECTION MANAGEMENT SYSTEM OF AN ENTERPRISE	391
9.1.2.3	THE CULTURE OF OCCUPATIONAL SAFETY AS A COMPONENT OF A OCCUPATIONAL SAFETY SPECIALIST'S PROFESSIONAL ACTIVITY	407
9.1.2.4	THE ROLE OF AN EMPLOYEE'S PERSONALITY IN ENSURING OCCUPATIONAL SAFETY	416

10.	МЕCHANICS	
10.1	<p>Котенко К.Е.¹, Клименко М.О.²</p> <p>ДИНАМІКА ТОНКОСТІННИХ ТРИШАРОВИХ НЕОДНОРІДНИХ КАНОНІЧНИХ ОБОЛОНКОВИХ СТРУКТУР ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ</p> <p>¹ Кафедра теоретичної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури</p> <p>² Кафедра машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури</p>	429
11.	METALLURGY	
11.1	<p>Сироватка В.¹, Шелудько В.¹</p> <p>РОЗРОБКА ТА ОТРИМАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК</p> <p>¹ Відділ матеріалознавства та інженерії високостійких поверхневих шарів, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України</p>	441
12.	ZOOTECHNICS	
12.1	<p>Савчук І.¹, Ковальова С.¹, Рубан І.¹, Тимошенко З.¹</p> <p>ПРОДУКТИВНІ ЯКОСТІ ТА НАКОПИЧЕННЯ ¹³⁷Cs, Pb I Cd У ПРОДУКЦІЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ЕКСТРУДОВАНИХ КОРМІВ У РАЦІОНІ СВИНЕЙ</p> <p>¹ Відділ тваринництва, Інститут сільського господарства Полісся НААН України</p>	450
12.1.1	ПРОДУКТИВНІ І ЗАБІЙНІ ЯКОСТІ СВИНЕЙ	451
12.1.2	НАКОПИЧЕННЯ ¹³⁷Cs, Pb I Cd У ПРОДУКЦІЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ЕКСТРУДОВАНИХ КОРМІВ У РАЦІОНІ СВИНЕЙ	458
	REFERENCES	467

SECTION 1. AGRONOMY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.1.1

1.1 Ecological assessment of the conditions for restoring soil environment through legumes

Today, the vast majority of Ukrainian agricultural producers are focused on growing economically profitable crops, which are mainly grown in monoculture, neglecting crop rotation.

Analysing the processes that take place as a result of growing monocultures, it should be noted that there is a decrease in soil fertility, namely a decrease in humus, nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, deterioration of the microbiological state of the soil, a decrease in productive moisture, conditions are created that will enable the development of various erosion processes, deterioration of soil structure, a decrease in the number of agronomically valuable aggregates, accumulation of toxins and pollutants, and a decrease in the quality and productivity of agricultural products.

Therefore, it is necessary to restore the agro-ecological indicators of the soil, based on biological processes, namely the cultivation of perennial legumes in the crop rotation, which will naturally accumulate organic matter in the soil in the form of post-harvest and root residues, accumulate symbiotic nitrogen and contribute to the restoration of soil microflora, as well as soil structuring.

A promising plant in this area is the perennial legume *galega orientalis*, which has positive unifier properties, high productivity, symbiotizes biological nitrogen within 108 kg/ha per mowing, and also contributes to the accumulation of moisture in the soil, organic residues and improves agro-ecological indicators and nutrients.

Growing economically profitable crops in monoculture leads to deterioration of soil condition, namely a decrease in agro-ecologically valuable parameters due to anthropogenic pressure on the soil environment.

1.1.1 Ecological problems of reproduction of soil fertility in agroecosystems

1.1.1.1 Impact of anthropogenic activities on agroecosystems

A modern agroecosystem can be represented as a functional unit that combines natural factors, as well as objects with anthropogenic factors and energy inputs (Fig. 1).

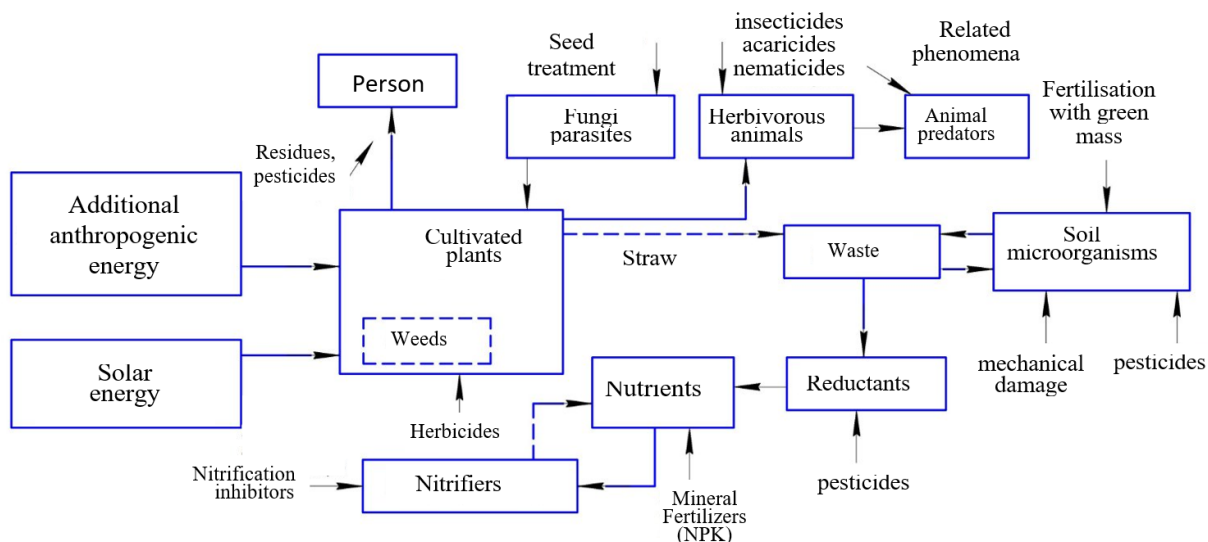


Fig. 1 – Modern agroecosystem

Natural formations are undergoing significant transformation as a result of anthropogenic activity, with the formation of various agricultural formations, namely arable land, hayfields, pastures, orchards and meadows.

Agroecosystems are modified biogeocenoses in the process of human economic activity, which currently occupy a significant place in the biosphere. They are mainly represented by agrobiocenoses, consisting of depleted species of living organisms, which, however, are beneficial to humans in terms of their qualitative and quantitative parameters [2].

For agroecosystems to function, humans create and maintain the conditions for organisms to live. Agroecosystems are characterised by high biological productivity, with the dominance of a particular type of plant or animal organism.

Agroecosystems are inherently unstable and without human support, they are not capable of self-regulation, so they are rapidly destroyed and transformed into natural ecosystems [3, 4].

As a result of active traditional agriculture, the following degradation processes are observed, which negatively affect the condition of agricultural land and contribute to a decrease in its fertility and productivity (Fig. 2).

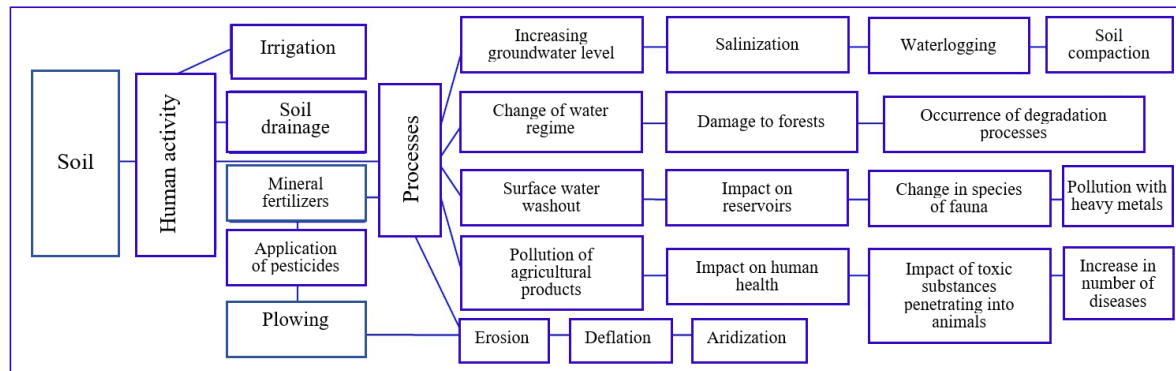


Fig. 2 – Degradation of soil environment due to anthropogenic impact

The impact of human activity on the soil environment results in degradation and destruction processes that lead to a decrease in the productivity of agricultural land [5].

Soil degradation is defined as a decrease in soil fertility and agro-ecological qualities caused by changes in soil formation conditions due to natural or anthropogenic factors. This negative phenomenon is accompanied by a decrease in humus content, destruction of soil structure and a decrease in soil fertility.

Soil degradation also occurs as a result of water and wind erosion, dehumification and decalcification, and over-compaction by agricultural machinery. It is also due to the irrational operation of irrigation systems, which can lead to flooding and waterlogging, secondary salinisation and salinity of soils; due to violations of agricultural practices, overgrowth of weeds and shrubs, unbalanced use of mineral fertilisers, contamination with toxic substances, radionuclides, unregulated grazing, etc. [6].

Therefore, an important factor in restoring soil fertility is the introduction of alternative agriculture, with crop rotation, in which crops that will increase productivity of the soil environment, namely legumes, will be used.

Modern farming systems, of which there are a large number in the world, should have a priority task: to function as close as possible to natural systems, to be environmentally friendly, biological and to provide the world's population with safe

agricultural products at all stages of production [7]. The following European countries became the founders of alternative or biological farming in the 60s of the twentieth century: Germany, Austria, Switzerland, the Netherlands and others, in the cultivation of field, vegetable and fruit crops (Fig. 3).

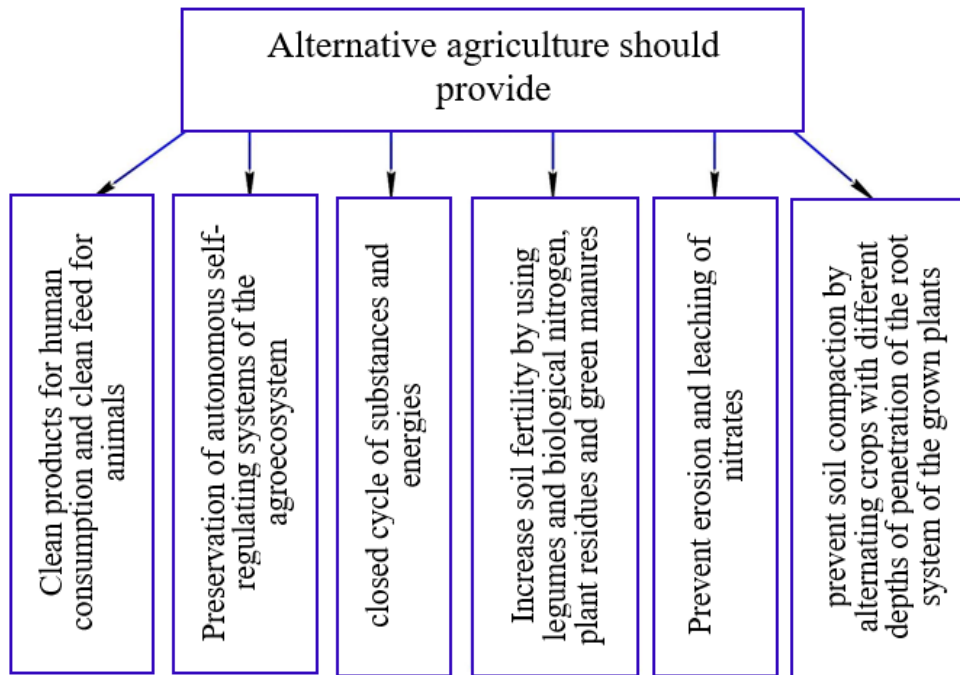


Fig. 3 – The purpose of alternative agriculture

It is important to note that it was during this period that the Green Movement began, which accordingly contributed to the awareness of past mistakes and their correction in the conduct of agricultural and other areas of human activity [8]. Also, in the case of transition to alternative types of farming, it is necessary to direct their activities to the use of the following factors that will most fully meet their focus with the maximum possible use of natural biological factors, which in turn will affect the size and quality of the crop (Fig. 4).

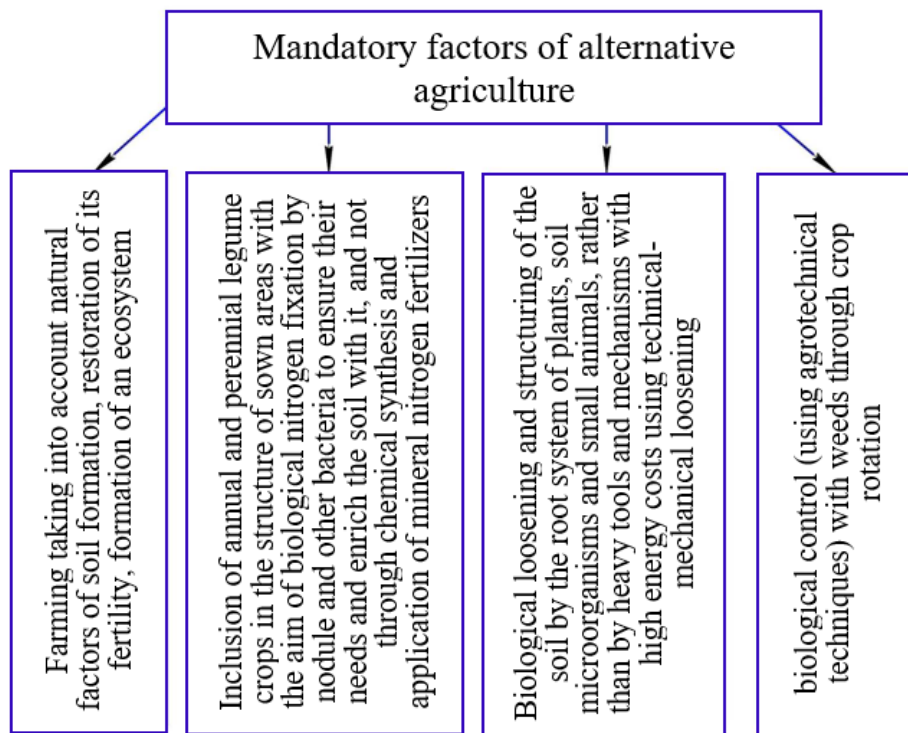


Fig. 4 – Mandatory factors of alternative farming

During agricultural operations, provided that cultivated plants are not restricted of the influence of natural factors such as moisture, light, air, soil nutrients; or provided that antagonistic processes are provided by the action of root secretions of other plants, but not by the use of synthetic herbicides; application of biological methods of protection against diseases and pests on the basis of reasonable crop rotation, through the cultivation of zoned varieties, hybrids and activation of natural enemies which are pests [9].

Through the use of alternative types of farming, the activation and use of the natural cycle of substances that occurs naturally by biological means is achieved, which helps to improve the quality of agricultural products, purify water and air, and contributes to energy conservation and restoration of natural soil fertility. Crop rotation becomes one of the leading links in this type of management, as the crops to be grown in it should complement each other and contribute to increasing yields naturally [10].

It should be noted that the use of alternative types of farming in the early years will not ensure the usual yield of major crops, but over time, when the level of soil fertility gradually recovers, crop yields will increase, and the quality of products that

will be environmentally safe and economically affordable is of particular importance [11].

Thus, alternative farming systems primarily ensure high environmental quality of products, promote and maintain soil fertility, and reduce energy costs. To achieve high and desirable results, it is necessary to take into account the soil and climatic conditions of the region, as well as the cultivation of zoned varieties and hybrids, and an important factor is the technical equipment that will meet all the necessary environmental and economic parameters of production.

1.1.1.2 Main factors of soil formation on agricultural land

Multifunctional systems that are of great ecological importance are called soils, the main functions of which include the following parameters, namely: habitat, accumulation, and the main source of substances and energies for organisms, an intermediate chain between biological and geological cycles, a protective barrier and prerequisites for the full functioning of the biosphere, and the creation of optimal conditions for the growth and development of agricultural plants and the maintenance of ecological balance in agricultural landscapes and the natural environment [12].

The following parameters are the main factors and drivers of soil formation (Fig. 5 and Fig. 6).

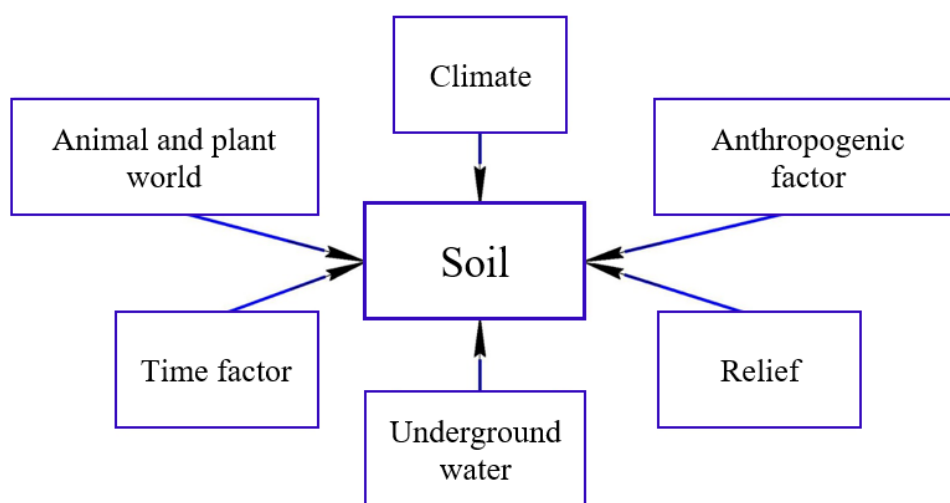


Fig. 5 – Factors of soil formation

The natural course of geological processes is not disturbed, as the influence of natural factors is continuous and mineral and organic substances are in a balanced state.

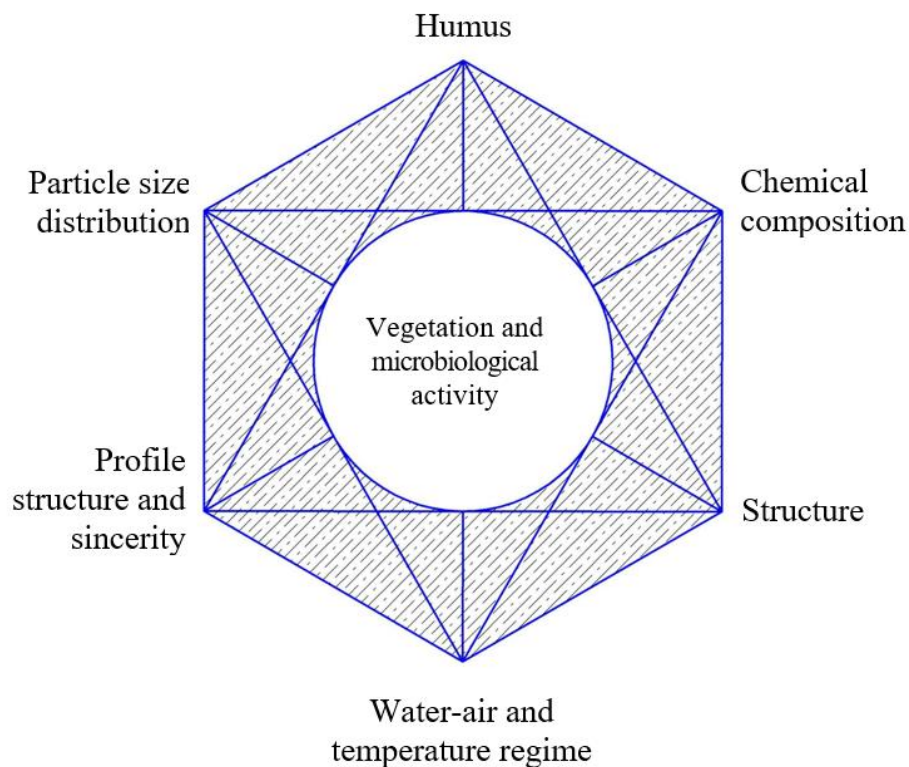


Fig. 6 – Natural fertility factors

As a natural resource, soil is constantly the subject to natural and anthropogenic impacts.

Soil fertility depends on the humus content (Fig. 7). Soil fertility is divided into types: natural, artificial, and mixed.

Natural fertility is determined by the potential reserves of mineral and organic nutrients, while artificial fertility is determined by the application of mineral fertilisers and a range of agronomic measures, including crop rotation, land reclamation, etc.

Crop yields depend on effective soil fertility, which is determined by:

- nutrient, water-air, thermal regimes of soil, content of physiologically active substances, reaction of soil solution, presence of phytotoxic compounds in the soil;
- meteorological conditions of the growing season;
- quality of seed: variety, reproduction;
- phytosanitary conditions: weeds, pests and diseases of cultivated plants;
- anthropogenic activities: soil cultivation, plant cultivation technology, crop rotation, fertiliser system, land reclamation measures, plant protection measures, etc.

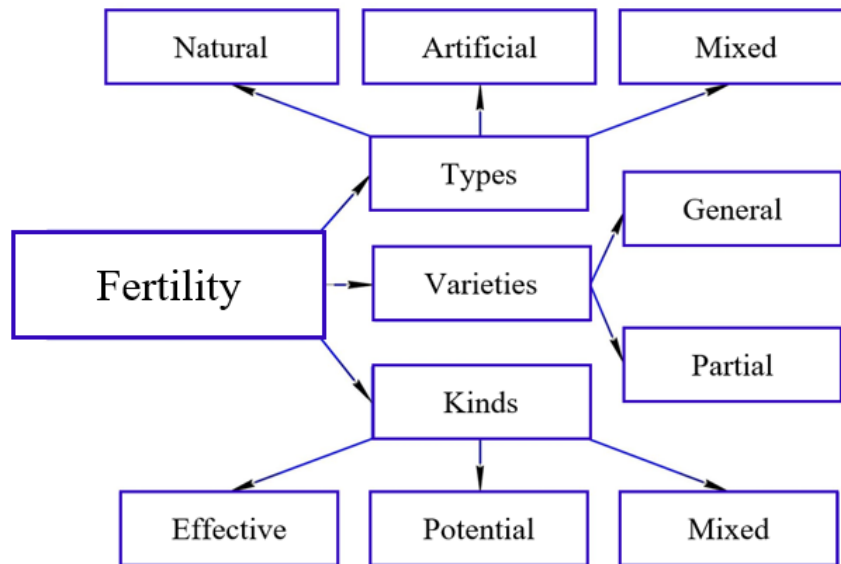


Fig. 7 – Soil fertility

The disadvantages of modern agriculture, which lead to soil environmental degradation, include high level of ploughing, imbalance of biochemicals and energy in agroecosystems, ineffective erosion control systems that lead to a decrease in soil fertility and environmental sustainability, and loss of productive and quality indicators of agricultural land.

Currently, important and urgent issues are the restoration of soil fertility using the most natural methods and measures that will increase soil fertility, improve agronomic and valuable indicators, reduce erosion and allow cultivating environmentally safe agricultural products [13, 14].

1.1.1.3 Greening and improving soil fertility through legumes

In alternative farming systems that have emerged as a result of greening of the agricultural sector, the priority areas of development are the application of organic fertilisers using maximum possible resources, namely manure, compost, post-harvest residues, green manure, as well as soil protection systems and environmentally sound plant protection systems against pests. The use of ecological farming systems results in a symbiosis of natural and anthropogenic factors, which makes the agricultural sector acceptable to both humans and nature. The main tasks of ecological farming can be classified as the production of environmentally safe, economically viable

agricultural products, as well as the preservation and improvement of soil fertility [15, 16].

Due to the intensification of farming in recent decades, the agricultural sector has been burdened with environmental problems, as the main means of production – soil – although of natural origin, is degraded due to anthropogenic pressure, which is shown in the loss of soil structure, over-compaction, deterioration of water permeability, and accumulation of toxins [17].

Scientists consider the ecologically acceptable share of arable land to be 40%, meadows and pastures – 30%, forests – 30% of the country's territory, but as for Ukraine, these parameters do not meet environmental standards, namely arable land occupies 57%, meadows and pastures – 26% and forests – 17%. So, environmental optimisation is needed, which will reduce the share of arable land and increase the number of meadows and forests. Another important factor is the development of a land structure analysis on a farm-by-farm basis, and the introduction and observance of crop rotation with mandatory legumes.

Basic laws of agriculture that will contribute to the improvement and restoration of soil environment include the following:

- indispensability and equivalence of life factors;
- minimum, optimum and maximum;
- combined action and interaction of life factors;
- return of nutrients to the soil;
- fruit change;
- critical periods.

G. Kant, who is considered to be its founder, wrote about biological or alternative agriculture in his works [18, 19].

The main three principles of biological farming are as follows (Fig. 8):

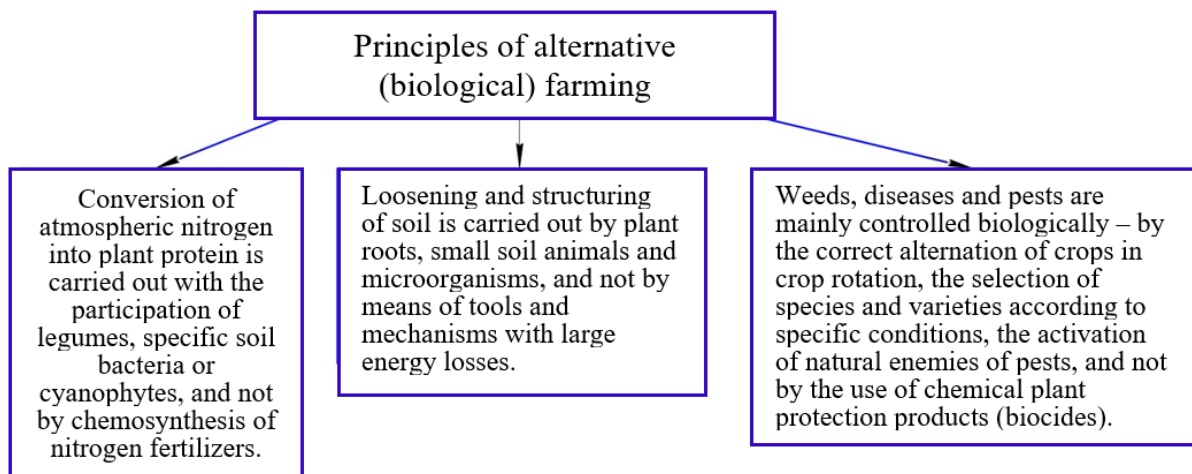


Fig. 8 – Principles of biological farming

- 1) Air nitrogen is converted into plant protein by legumes, specific soil bacteria or cyanophytes, rather than by chemosynthesis of nitrogen fertilisers;
- 2) Soil loosening and structuring is carried out by plant roots, small soil animals and microorganisms, not by means of tools and mechanisms with high energy losses;
- 3) Weeds, diseases and pests are controlled mainly by biological means – by proper crop rotation, selection of species and varieties according to specific conditions, activation of natural enemies of pests, and not by the use of chemical plant protection products (biocides).

The implementation of the first and second principles is possible through the use of legumes in crop rotation, which, due to their biological and ecological characteristics, are able to accumulate biological nitrogen, through symbiosis with nodule bacteria, have a large amount of post-harvest residues and root residues, which create favourable conditions for the accumulation of humus and development of positive soil microflora, structuring and loosening of the soil is carried out by the fibrous root system of crops [20].

Legumes include the following crops: soybeans, peas, beans, chickpeas, peanuts, lentils, alfalfa, sainfoin, sweet clover, eastern galea, clover, lupine, vetch, etc. (Fig. 9) [21, 22].

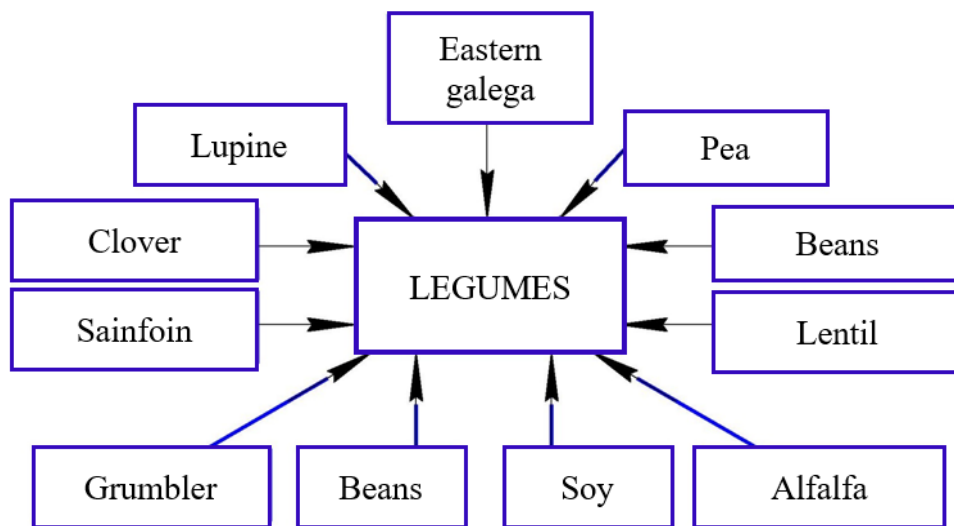


Fig. 9 – Legumes

The territory of Kirovohrad region is favourable for growing legumes, and their environmental impact on agroecosystems is therefore undeniable.

Soybeans are an annual herbaceous cultivated plant of the legume family.

Scientists have shown in their research that by combining two of the most important physiological processes – photosynthesis and biological nitrogen fixation – the crop is able to meet its nitrogen requirements and improve nitrogen balance and soil fertility. The crop is able to fix atmospheric nitrogen when there is a sufficient amount of *Bradyrhizobium* bacteria in the soil or when seeds are inoculated. It has been established that soybeans receive 25 to 75% of the nitrogen they need through nitrogen fixation.

According to the research of A.O. Babych, on average, from 21 to 80 tubercles are formed on one plant. They are located mainly in the topsoil on the main and lateral roots [23]. First tubercles on soybean roots appear a week after germination, and in 10-14 days they can satisfy most of the nitrogen demand of plants. Nitrogen is most intensively fixed from the atmosphere by tubercle bacteria and enters the plant from the flowering phase to bean filling at the air temperature of 24-28°C and relative humidity of 40-80%, after which it gradually decreases as the plant approaches maturity [4].

Chickpea is an ancient crop in the world's crop production [25].

Chickpea has high agrotechnical characteristics. Chickpea is a good precursor for many crops. Due to the biological characteristics of the root system of legumes, which include chickpea, symbiotic nodule bacteria can develop on the roots under favourable hydrothermal conditions. The vital activity of nodule bacteria helps to bind atmospheric nitrogen and convert it into a form available to plants. Due to its symbiotic properties, under favourable conditions, chickpea, together with root residues, accumulates 50-60 kg/ha of symbiotic nitrogen. The roots of this plant are able to absorb phosphorus and calcium from deep soil layers and move them to higher soil horizons, where they are absorbed by subsequent crops in the crop rotation [26].

Lentils are an annual plant of the legume family, quite cold-resistant, with a minimum seed germination temperature of +4...+50°C [27].

One of the main biological features of lentils, as well as other legumes and perennial legumes grown in agriculture, is the ability to absorb air nitrogen with the help of nodule bacteria. The symbiosis between bacteria and legumes not only increases the yield, but also increases protein and vitamin content of the crop. Under favourable conditions, proteins are formed in the grain and green mass of legumes, mainly from air nitrogen.

It has been established that lentils can accumulate atmospheric nitrogen in the soil, improving its fertility and structural properties. Depending on the conditions of development, its amount during the growing season ranges from 35-140 kg/ha, which is equal to 10-20 t/ha of manure [28].

Lentils also have the following economic values: they free up space early and use moisture sparingly, leaving significant reserves in the soil, so the crop is valuable as a precursor and as a source of ecological fertiliser. It is also important to add that grain yields after lentils increase by an average of 0.3-0.6 t/ha [29].

For example, seed alfalfa, one of the traditional legumes grown in our region, is a strong nitrogen fixer [30]. Depending on the growing conditions, 1 hectare of this crop can fix 200-250 kg of nitrogen (and even more), and the root system leaves the same amount of nitrogen, phosphorus, potassium and other elements as the application of 45-60 t/ha of manure [31].

The roots of the crop penetrate into the soil 2-3 m or more and bring calcium, phosphorus and other elements to the top layer, enriching it with nutrients.

The great value of the crop is that it generates high yields and quality through significant nitrogen fixation, does not require the use of expensive and environmentally harmful nitrogen fertilisers, and therefore plays a major role in the biologisation of fodder production and is a valuable component of energy-saving technologies.

Due to their ability to improve the agrophysical, agrochemical and biological properties of soils, all legumes are the best predecessor for all crops in a crop rotation.

Galega orientalis L. is a promising valuable perennial agricultural crop that is gaining widespread use due to its biological and ecological characteristics, which are especially valuable in the context of rapid climate change.

Like the vast majority of legumes, under favourable conditions, *galega orientalis* undergoes symbiotic relationships with nodule bacteria, which are formed on the roots of plants from the stage of stemming. The shape of the nodules is oval, 2-4x1-1.5 mm in size [32]. During the process of entogenesis to the phase of butonisation, the nodule weight increase is observed, which sometimes reaches 400 kg/ha. After the disposal of the simulation equipment (mowing), the vast majority of nodules die off due to the cessation of the supply of plastics. Since *galega orientalis* is a multi-rooted crop, nodules are continuously formed on young roots as the root system grows and regenerates.

Traditional legumes grown in Kirovohrad region also include sainfoin, which is a valuable fodder and ameliorative crop that can successfully compete with alfalfa when grown in the Steppe zone of Ukraine without irrigation [33].

When grown for green manure, sainfoin loosens the soil well and improves its structure, protects against erosion processes (especially on slopes), and suppresses weed growth. At the same time, it has individual positive characteristics, namely: a nitrogen fixer that is undemanding to soil fertility, and thanks to its powerful root system, it is able to penetrate to a depth of 40-100 cm and absorb hardly soluble calcium and phosphorus compounds from the lower soil layers; a powerful unifier, with low rates of pest and disease damage compared to other legumes.

Taking into account the data from scientific sources, it should be noted that the use of legumes in agricultural practice will allow for the active implementation of alternative farming and will contribute to the increase of soil fertility, humus growth, accumulation of biological nitrogen, improvement of the structure of the soil environment, increase of the level of positive soil microflora, which in turn will allow for the production of environmentally safe crop products.

1.1.2. Place and conditions of the research

The area of Kirovohrad region consists of 2458.8 thousand hectares, of which 2035.7 thousand hectares are agricultural land. The soil cover of the region is characterised by a high level of fertility.

The research area of Kirovohrad region belongs to the temperate continental and moderately warm climate.

The thermal period ranges from 240-250 days with an average daily temperature above 0°C.

The climate in the steppe part is moderately warm and moderately continental with insufficient moisture, hot summers and mild winters, sometimes cold.

As for moisture, precipitation is unevenly distributed throughout the year. Thus, the minimum amount falls in the winter months. A moderate increase occurs from April to July, and its maximum amount falls in June and July in the form of heavy rains, and in August, a decrease in precipitation is again observed and continues until the end of the year. As a result, in the conditions of Kirovohrad region, namely in the southern and southeastern parts, there is a periodic lack of soil moisture.

The thermal regime has significant fluctuations throughout the year. For example, spring sees an intense rise in temperatures.

Summers are mostly warm and cloudy, with the average monthly temperature in July in the south reaching -22° and the maximum +38°. In summer, precipitation is mainly rainfall, 7-10 days a month, although there are long periods of rain-free weather.

In autumn, cloudy days with night frosts and a gradual drop in temperature prevail. Thus, in mid-November, the average daily air temperature goes below 0°.

In winter, there is generally little snowfall, mild weather with frequent thaws, with a sharp rise in air temperature to 4-9°C, sometimes up to +13°C. Very cold winters are rare, with the average temperature of the coldest period (January-February) ranging from -28.3° to 35.4°C.

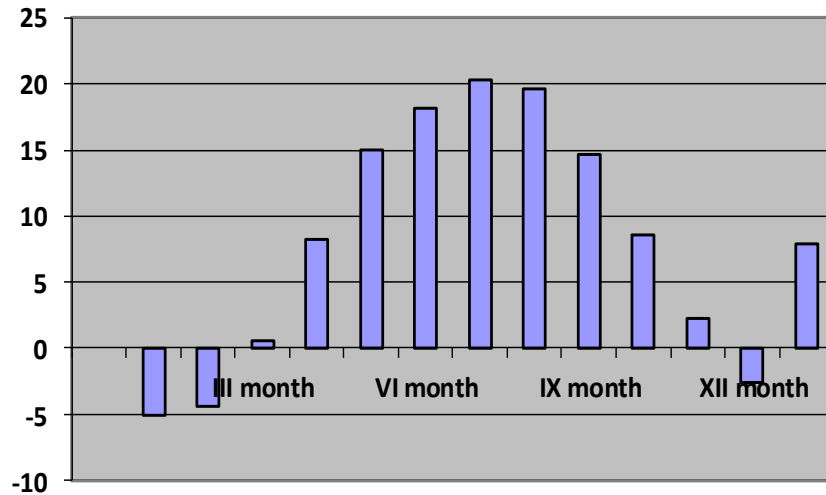


Fig. 10 – Average monthly and annual air temperature in the study area, °C, (according to the Kirovohrad Hydrometeorological Office)

The temperature regime is favourable for the growth and development of most zoned crops (Fig. 10).

In Kirovohrad region, the main factor affecting crop yields is the amount of precipitation (Fig. 11).

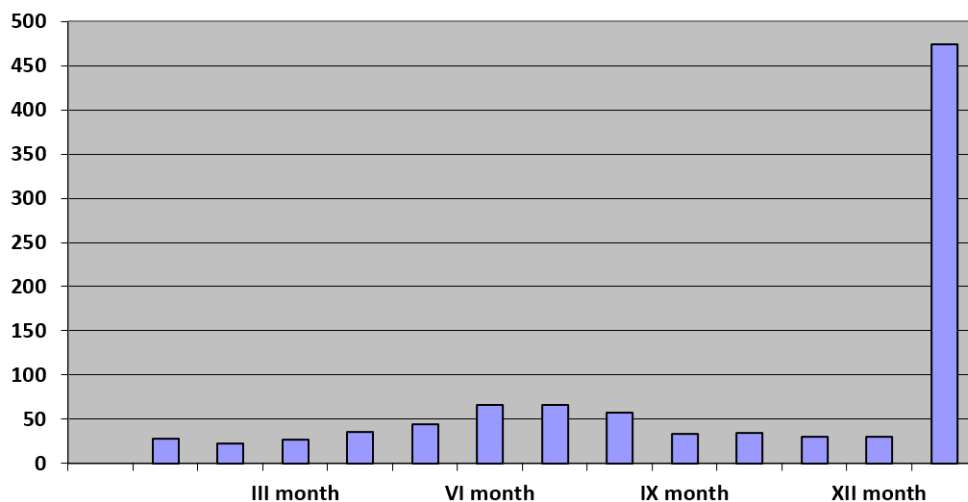


Fig. 11 – Average monthly and annual precipitation in the study area, mm (according to the Kirovohrad Hydrometeorological Office)

In general, weather conditions are favourable for growing all zoned crops, as well as for the development of horticulture and gardening.

1.1.3. Research results and analysis

The studied soils are mainly chernozems, which are characterised by high natural fertility, but about 200 hectares are eroded soils with a shortened humus horizon, reduced nutrients and reduced agro-ecologically valuable indicators that need to be restored to reduce active soil degradation and destruction on the farm.

It has been established that the nutrient content of the soil is decreasing every year, as monocultures such as sunflower prevail on the farm, which leads to an impoverishment of soil environment and, as a result, a decrease in the yield of crops grown.

For productive farming to have a favourable impact on the soil environment, namely the restoration of its fertility, nitrogen returns should be in the range of 90-110%. As for phosphorus, its return should be more than 100% before leaching. In the case of potassium, this element is the most abundant in the soil, so in the coming years, the farm's black soil will be within acceptable parameters for potassium recovery.

As noted earlier, sunflower has been growing on a large part of the farmland for the past five years, and it is an economically profitable crop for the farm. Sunflower is a demanding crop in terms of soil nutrition and, together with crops, it removes 5-6 kg of nitrogen, 2-2.5 kg of phosphorus and 10-12 kg of potassium from the soil per 1 m².

During the years of research (2023-2024), there was a decrease in soil fertility indicators.

According to the agro-ecological certification, in 2022, according to the comprehensive studies conducted, the ecological and agrochemical assessment of soils was on average 80 points.

It has been established that over the past three years, the studied indicator has been steadily decreasing due to monoculture cultivation (Fig. 12).

As can be seen from Fig. 12, the indicators of the ecological and agrochemical assessment of soils have been deteriorating over the years of research. Thus, in 2021,

the indicator was 80 points, which was 20 points lower than the benchmark. In 2022, the indicator decreased by 5 points and 25 points, in 2023 by 16 and 36 points, and in 2024 by 20 and 40 points.

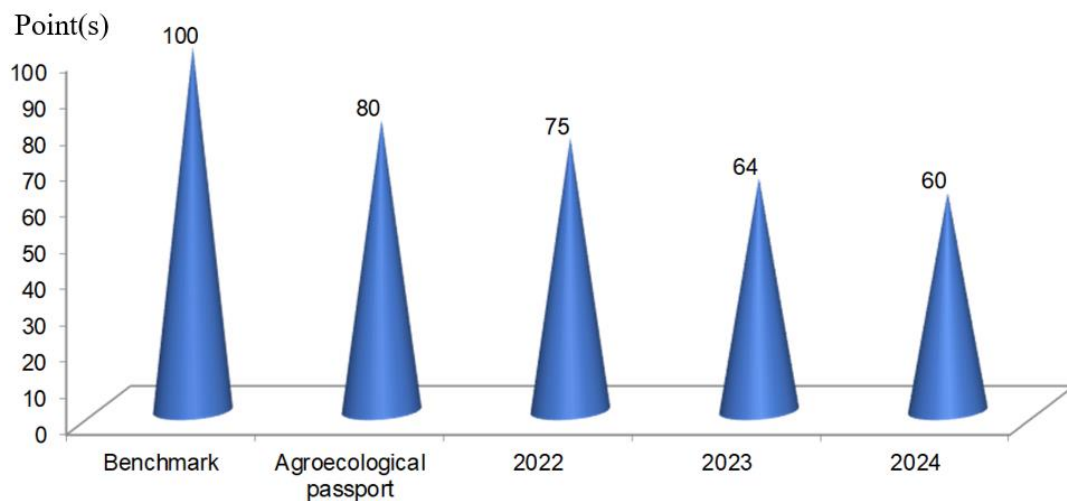


Fig. 12 – Ecological and agrochemical assessment of the studied soils, points

Also, in our research, we noticed how the nutrient indicators decreased over the years of research, due to the cultivation of monoculture (Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15).

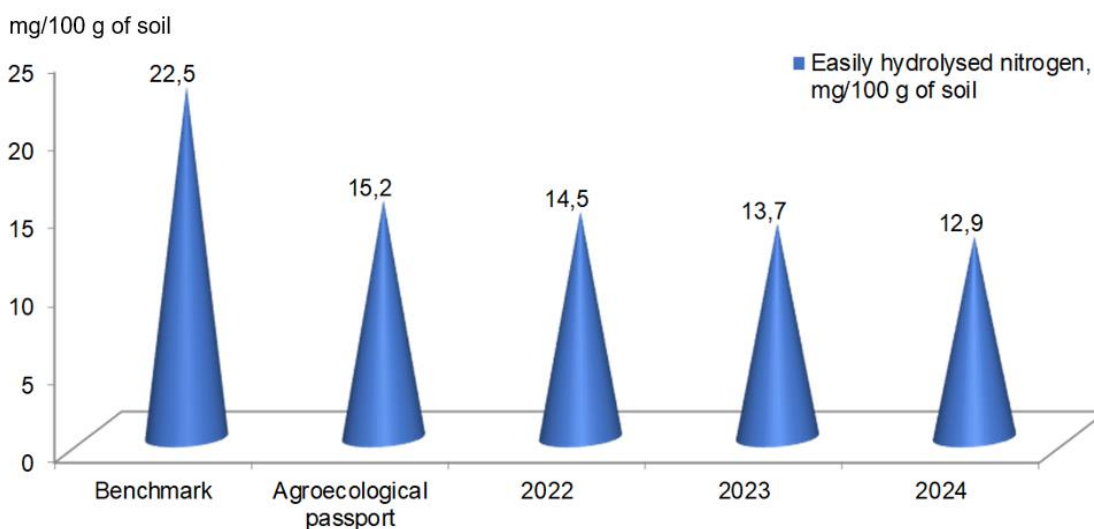


Fig. 13 – Indicators of easily hydrolysed nitrogen during 2022-2024 research, mg/100 g of soil

According to Fig. 13, the studied indicators of easily hydrolysed nitrogen were as follows: in 2021 – 15.2 mg/100 g of soil, which was 7.3 mg/100 g of soil lower than the standard, while in 2022 the indicator decreased to 14.5 mg/100 g of soil, which was 8 mg/100 g of soil below the benchmark and 0.7 mg/100 g of soil below the benchmark

in 2021.

A similar downward trend in nitrogen content was observed over the next two years of research. Thus, in 2023, the indicator decreased to 13.7 mg/100 g of soil, and in 2024 to 12.9 mg/100 g of soil, which was 8.8 and 9.6 mg/100 g of soil lower than the benchmark, respectively.

In our research, we also paid attention to mobile phosphorus (Fig. 14).

Our research has shown that the amount of mobile phosphorus, according to the agro-ecological passport, was 14.9 mg/100 g of soil, which was lower than the standard by 2.7 mg/100 g of soil. A downward trend in the studied indicators was observed over the years of research, both in relation to the benchmark and to the environmental certification data.

Thus, in 2022, the mobile phosphorus indicator was 13.8 mg/100 g of soil, which was lower than the standard and the agroecological passport indicators by 3.8 mg/100 g of soil and 1.1 mg/100 g of soil, respectively. The lowest levels were recorded in 2023 and 2024, which were 13.4 and 13.1 mg/100 g of soil, respectively.

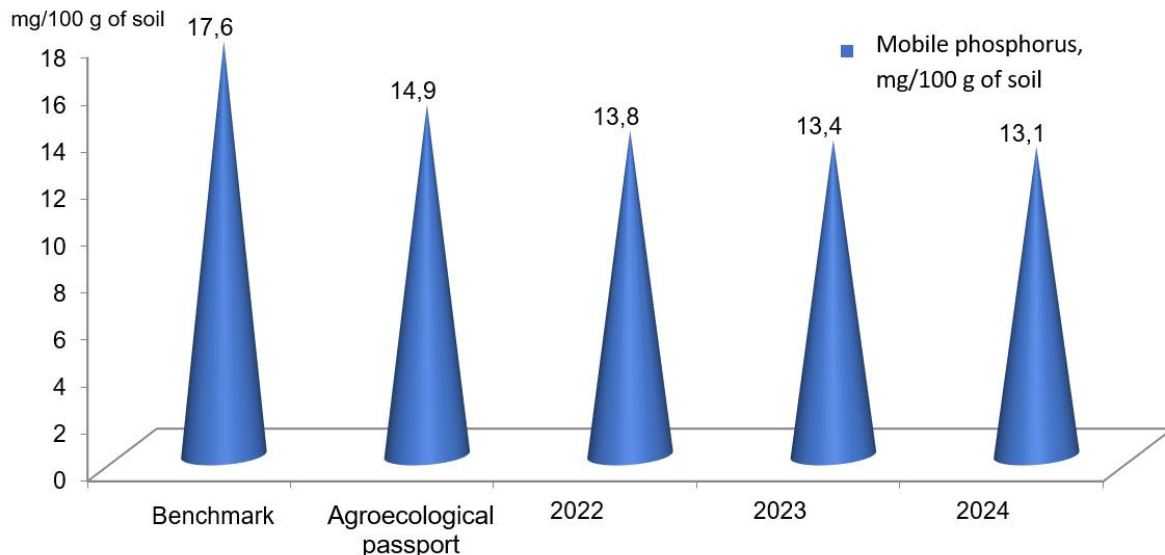


Fig. 14 – Indicators of mobile phosphorus during the 2022-2024 research period, mg/100 g of soil.

In our studies, we found that the exchangeable potassium values varied over the years of research and were lower than the benchmark and agroecological certification data (Fig. 15).

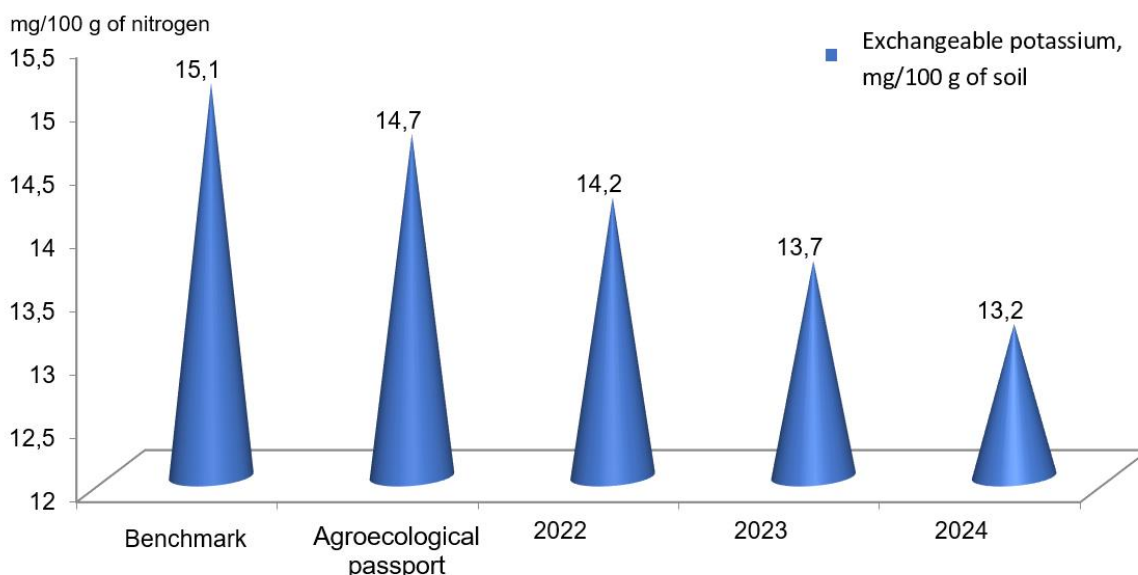


Fig. 15 - Indicators of exchangeable potassium during 2022-2024 research, mg/100 g of soil.

Analysing the indicators of exchangeable potassium content (Fig. 15), we can note that the studied indicator was the highest in 2021 – 14.7 mg/100 g of soil, but lower than the standard and agroecological passport by 0.9 mg/100 g of soil and 0.5 mg/100 g of soil. Whereas, in 2023 and 2024, the values of exchangeable potassium were the lowest and amounted to 13.7 and 13.2 mg/100 g of soil, respectively.

It was found that during the years of research there was a decrease in the indicators of humus in the soil (Fig. 16).

As can be seen from the graph, the indicators in the experimental plots in 2022 were 5.4%; in 2023, the humus indicators were 4.9%, and in 2024, this indicator was 4.7%. Compared to 2021 and the benchmark, the indicators for the years of research were lower by 0.8%, 1.3%, 1.5%, and 0.4%, 0.9%, 1.1%.

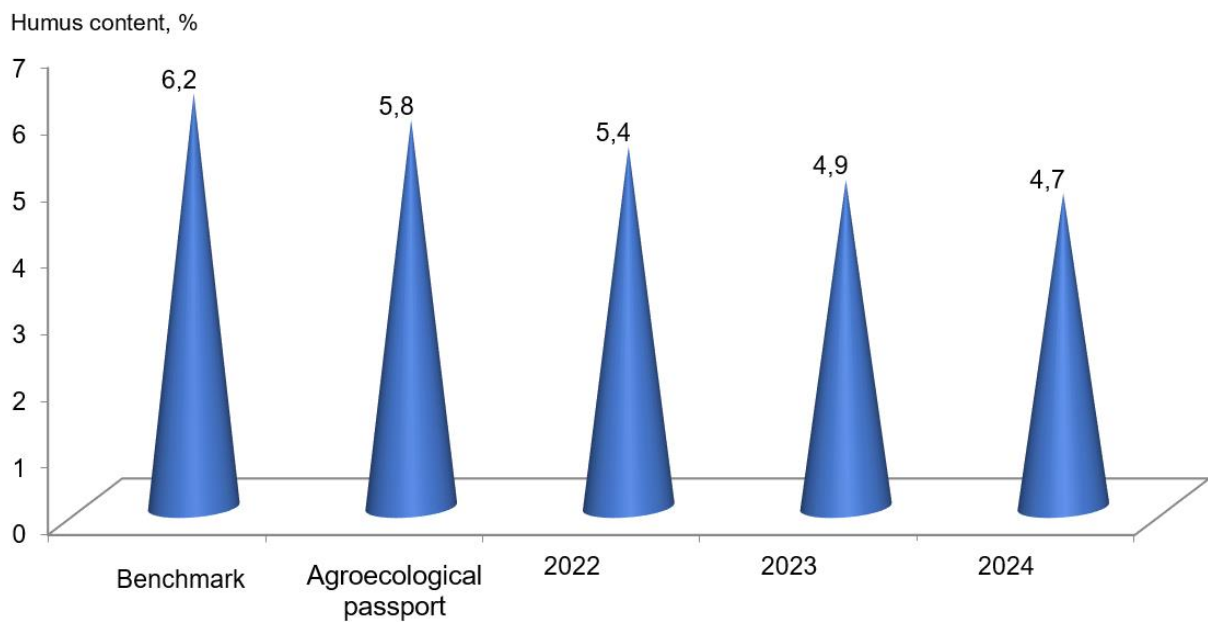


Fig. 16 – Humus indicators during 2022-2024 research period, %.

Our research for 2022-2024 showed a decrease in humus content over the years and in the main nutrients in the soil due to sunflower cultivation in monoculture.

1.1.3.2. Ecological substantiation for growing pulses

In our research, we found out how legumes, namely perennial legumes such as alfalfa and eastern galea, contributed to the improvement of agro-ecological indicators of the soil.

Alfalfa is a legume. In modern agriculture, alfalfa is used for animal feed. It is fed fresh to animals; preparation of silage (haylage); preparation of alfalfa hay and pellets; medicinal purposes; improvement of soil fertility, accumulation of nitrogen in soils.

Alfalfa usually has the highest nutritional value of all common crops for hay production. Alfalfa provides protein- and vitamin-rich fodder for livestock in the form of green mass, hay and hay meal. The leaves contain up to 19-20% protein, a large amount of vitamins - A, C, PP, etc., 0.24% phosphorus and 1.49% calcium.

The fodder value of alfalfa is combined with its high productivity. It grows quickly (3-4 times during the growing season) and provides valuable, highly nutritious fodder in summer. On average, the yield of alfalfa green mass is between 400-600 cwt/ha, and hay 50-120 cwt/ha.

Less commonly, alfalfa is used as a pasture crop. Fresh alfalfa can cause tympanitis (a digestive disorder) in livestock, so because of this danger, livestock should be carefully grazed on alfalfa.

Alfalfa sprouts are also used in salads and sandwiches, and dehydrated alfalfa leaf is commercially available as a dietary supplement in several forms, such as tablets, powders and tea.

Ecological features of alfalfa. Alfalfa seeds germinate at temperatures of 5-6°C, and seedlings can withstand frosts of -5 to -6°C. In spring, alfalfa begins to develop at temperatures of 8-10°C. Alfalfa is a fairly winter-hardy crop, withstanding temperatures down to minus 25°C in snowless winters. Under snow cover, its crops do not freeze at temperatures of minus 40°C and below.

Seed alfalfa is a long-day plant. It is a light-loving plant that does not tolerate shade, especially at the beginning of growth. Alfalfa is quite demanding on soil fertility. The highest yields are obtained on fertile, deep and calcium-rich soils. Alfalfa does not tolerate close groundwater. Soils with pH of 7 are the most suitable for its cultivation. Under irrigated farming conditions, it prevents soil salinisation. Alfalfa grows well on sandy clay soils with sufficient humus content and a low content of calcium or marl compounds in deeper horizons.

Agronomic importance of alfalfa. Like other legumes, alfalfa's root system is in symbiosis with the bacteria *Sinorhizobium meliloti*, which can fix atmospheric nitrogen, which contributes to the production of high-protein feed regardless of the availability of nitrogen in the soil. The nitrogen-fixing capacity of alfalfa (which increases the nitrogen content in the soil) and the use of alfalfa as animal feed significantly reduces the cost of nitrogen fertilisers and increases agricultural efficiency, improving the ecological situation of soils.

Eastern galega is a perennial plant of the legume family, endemic to the Caucasus. Galega is used for fodder, energy, and agroecological purposes. Various types of feed are prepared from the above-ground mass and the green mass is used directly on pasture, in mown form as hay, haylage, and silage. Hay made from eastern galega contains a lot of nutrients, namely protein, phosphorus, calcium, essential amino

acids, and is characterised by high feed values. As for the green mass, it contains about 23.6% protein, 2.5% fat, 20.4% fibre, 44.5% nitrogen-free extractives and vitamin P - 276 ml%. One centner of green mass contains an average of 24 feed units, the digestible protein content reaches 135 g, which is twice as high as that of alfalfa.

The crop is characterised by early maturity and high productivity, and provides green mass in the early spring.

Environmental features of galega. Galega is a highly plastic crop that is adaptable to different soil and climatic conditions and is also characterised by frost, winter and drought resistance.

Thus, galega crops can withstand frosts without snow cover down to -25°C , and under snow cover down to -40°C . It is important to note that the crop can withstand sudden temperature drops in spring and autumn down to $-3-5^{\circ}\text{C}$.

Seeds germinate at soil temperatures starting at $+5...+6^{\circ}\text{C}$, and seedlings can withstand frosts down to $-3...-4^{\circ}\text{C}$. When the temperature increases to $+18...+20^{\circ}\text{C}$, the number of seedlings increases.

In the following years of life, the germination of crop seedlings occurs at a temperature of $+3...+5^{\circ}\text{C}$.

As for soils, sandy loam and light loamy soils are the best for eastern galega, and the crop also grows well on fertile, structural and moist soils. The optimal reaction of the soil solution for the crop is close to neutral. Galega germinates well in regions with at least 450-500 mm of moisture per year.

Agricultural importance of galega. The culture is a good precursor, as under favourable conditions it exhibits symbiotic properties with nodule bacteria, which are formed on plant roots from the stemming phase. During ontogenesis to the budding phase, an increase in nodule mass is observed, sometimes reaching 400 kg/ha. After mowing, the majority of the accumulated nitrogen is transferred to the soil environment and can be used by subsequent crops in the crop rotation. In addition, a large amount of post-harvest residues and root mass remains after galega, which has a positive effect on the restoration of the humus layer.

Our field experiments were carried out on ordinary medium-humus black soils

of transition to deep.

This work is aimed at introducing the cultivation of alfalfa of Synyukha variety and eastern galega of Salyut variety to determine the maximum unifying properties of crops by comparing the accumulation of aboveground and underground crop mass. The research was carried out according to general methods for growing legumes and in accordance with generally accepted methods [34].

The area of the experimental plot was 32 m² in triplicate. The sowing method is wide-row with a row spacing of 45 cm, the predecessor is sunflower. The seeding rate is 4 million/ha. Sowing depth is 3-4 cm. The sowing date was 20 October. The general agricultural background of the experiment was $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Phenological studies of alfalfa and galega cultivation have shown that the second crop has advantages in growth and development.

In our studies, we paid attention to the following phenological parameters: dynamics of plant density, plant height, number of nodules on the plant root system (total and active) and crop yield.

It was found that the onset of the growth and development phases depended on the crop grown (Fig. 17).

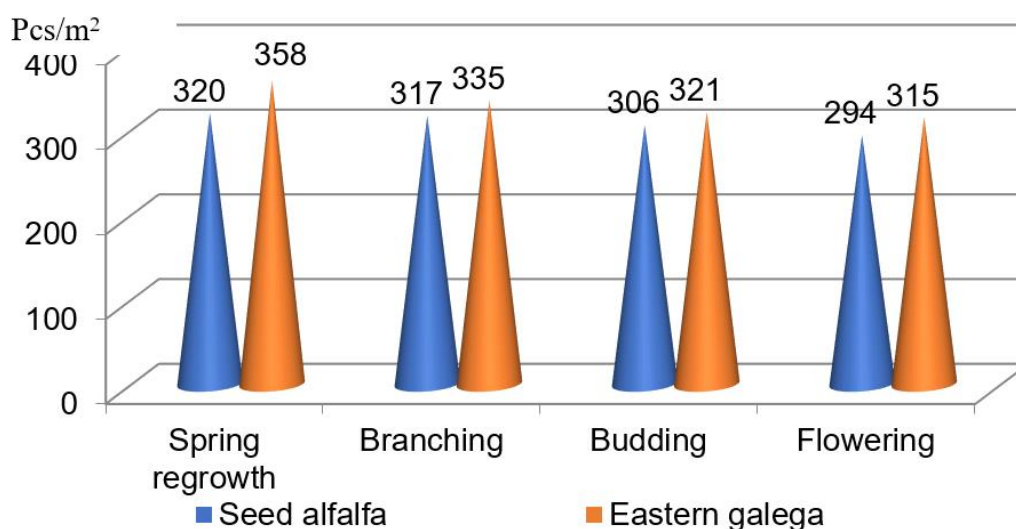


Fig. 17 – Density dynamics of alfalfa and eastern galega plants by growth and development phases, pcs./m² (average for 2022-2024)

Our research has shown that the density of eastern galega plants was higher than that of alfalfa.

Thus, alfalfa's indicators of 'spring regrowth', on average, over the years of research, were within 320 units/m², while in the case of eastern galega this indicator was 38 units/m² higher.

In the 'branching' phase, thinning was observed in the crops of the studied crops: the density of alfalfa was 317 pcs/m², and in the eastern galega 335 pcs/m².

A similar trend was observed in the subsequent phases – 'budding' and 'flowering', which respectively amounted to 306 and 294 plants/m² (alfalfa) and 321 and 315 plants/m² (eastern galega).

Analysing the data obtained, it can be noted that eastern galega had a higher plant density in the crops compared to sowing alfalfa, which was 6.7-10.6% higher.

Also, in our research, we paid attention to the height of the plants of the studied crops (Fig. 18).

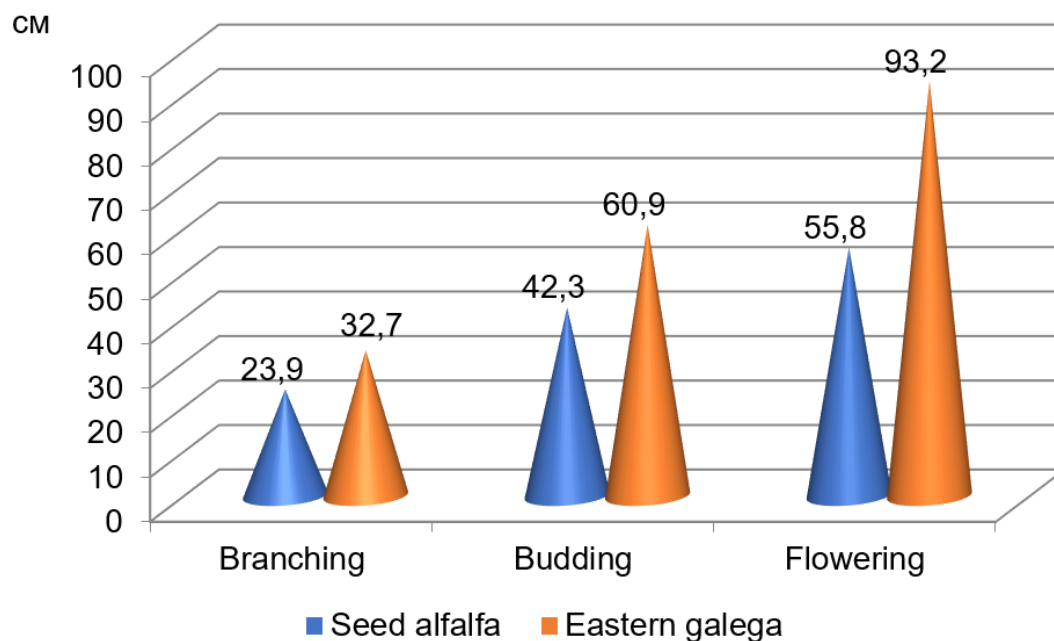


Fig. 18 – Plant height of alfalfa and eastern galega by growth and development phases, cm (average for 2022-2024)

Our studies have shown that the height of alfalfa plants in the 'branching' phase was 23.9 cm, while the height of galega was 32.7 cm, which was 8.7 cm higher than that of alfalfa.

With the onset of the ‘budding’ phase, there was an increase in the height of the studied plants, such as alfalfa and eastern galega. Thus, the height of alfalfa was 42.3 cm, which exceeded the branching phase by 18.4 cm. Whereas the height of the eastern galega in the ‘budding’ phase was 60.9 cm, which was 28.2 cm higher than in the previous phase of development. The height of galega plants was 18.6 cm higher than that of alfalfa plants in the budding phase.

With the onset of the ‘flowering’ phase, the maximum height was observed in the crops of the studied plants compared to other phases of crop growth and development.

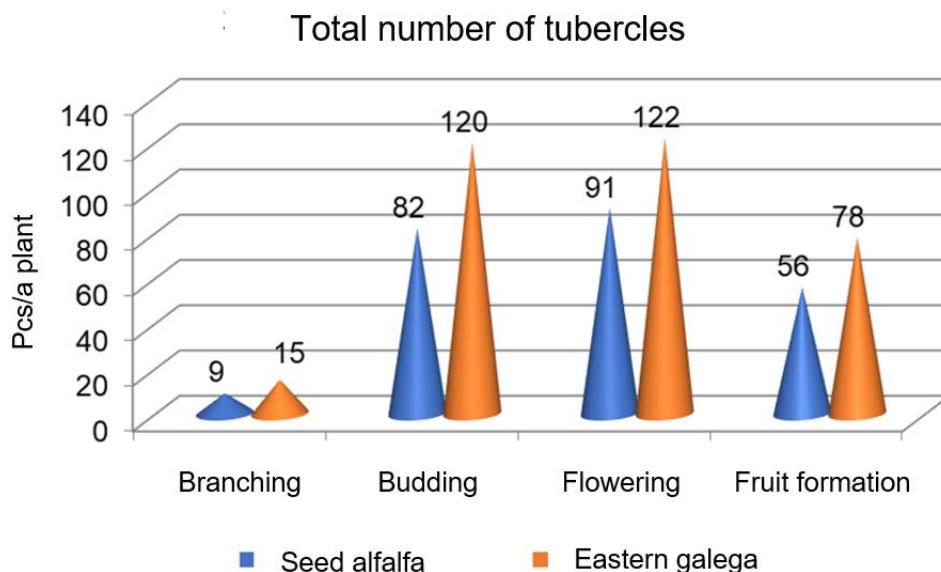
Thus, in galega crops, the studied indicator was within 93.2 cm, while in alfalfa the sown index was 55.8 cm, which was lower than the galega index of 37.4 cm.

According to Fig. 18, we can state that the height of galega plants was higher compared to sowing alfalfa, in the range of 26.9-40.2%.

An important feature of the studied legumes is their ability to bind atmospheric nitrogen due to nodule bacteria that are in symbiosis with legumes and germinate on their roots.

All legumes are good predecessors in crop rotation.

As our research has shown, nodules actively grew in the areas where eastern galega was grown (Fig. 19)



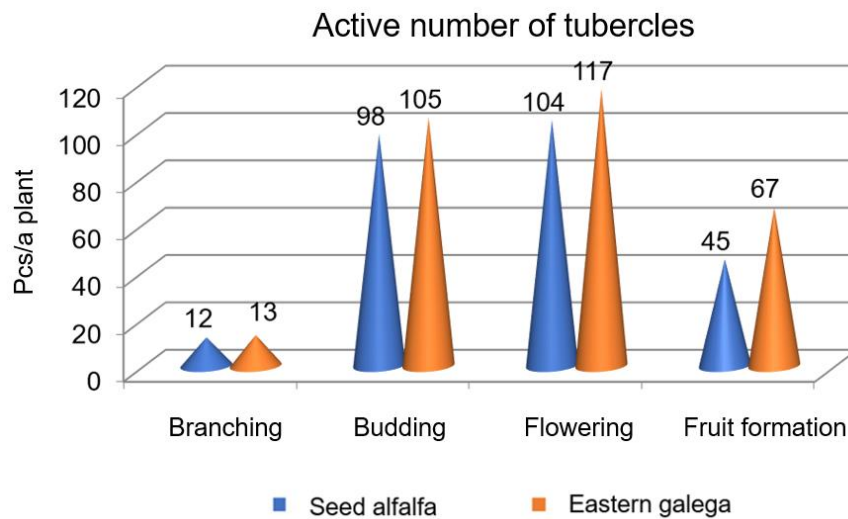


Fig. 19 – Dynamics of growth of the number of nodules of alfalfa and eastern galega, total number of nodules/active number of nodules, pcs./a plant, (average for 2022-2024)

It was found that the growth of the maximum number of total and active nodules was in the ‘flowering’ phase, which was 91 and 104 pcs./a plant in seed alfalfa and 122 and 117 pcs./a plant in eastern galega.

It is important to note that the total number of nodules in the eastern galega was higher than in the sowing alfalfa by 25%, since the galega crops fully showed their biological characteristics, namely the creation of a favourable microclimate due to the aboveground vegetative mass, which provides sufficient moisture and lowering the temperature in the crops, which allows the symbiotic apparatus of the culture to germinate more actively.

Also, in our research, we paid attention to the amount of symbiotic nitrogen formed during the ‘flowering’ phase of the studied crops (Fig. 20).

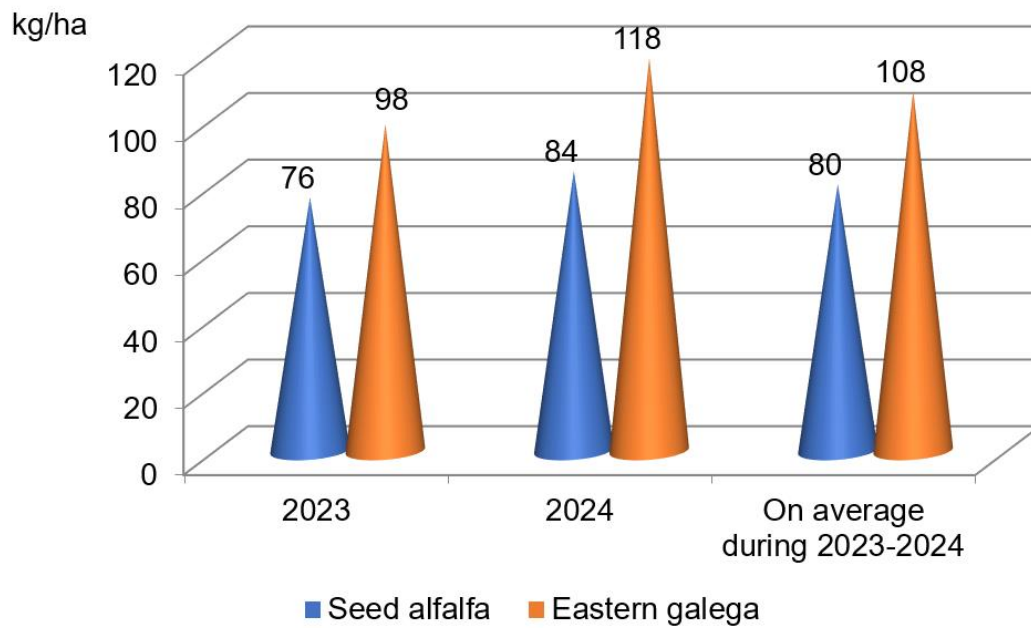


Fig. 20 – Symbiotic nitrogen growth of seed alfalfa and eastern galega in the ‘flowering’ phase, kg/ha

Our research has shown that in 2023, 76 kg/ha of symbiotic nitrogen was formed in the flowering phase of alfalfa, while in eastern galega this figure was higher – within 22.4%.

In 2024, the studied indicator was 84 kg/ha in alfalfa, which was 28.8% lower than in the plots of eastern galega.

On average, over the years of research, the amount of symbiotic nitrogen was 80 kg/ha in alfalfa and 108 kg/ha in eastern galega, which was 28 kg/ha higher.

Accordingly, we can conclude that the amount of biological nitrogen will be higher when growing eastern galega, which will allow growing environmentally friendly crops in crop rotation and save on mineral fertilisers, primarily nitrogen fertilisers.

One of the most important indicators of crop research is yield (Fig. 21).

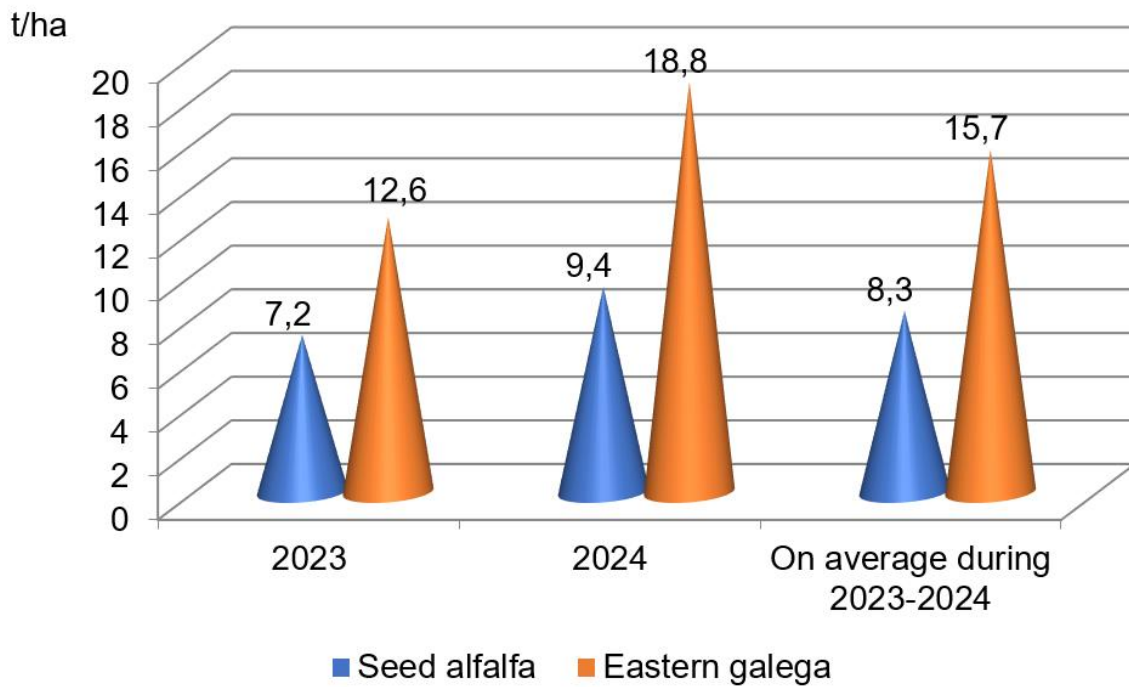


Fig. 21 – Seed alfalfa and eastern galega yields, t/ha

According to the results of the research, we can conclude that the yield of eastern galega was higher compared to eastern alfalfa. Thus, in 2023, the yield of alfalfa was within 7.2 t/ha, while the yield of eastern galega was 12.6 t/ha, which was 5.4 t/ha higher. Yields in 2024 were higher than in 2023 by 23.4-32.9%, respectively, by crops. On average over the years of research, it was found that the yield of galega was higher compared to alfalfa by 47.1%, which indicates better qualifying properties of eastern galega, respectively, which means more post-harvest and root residues remaining after mowing; also, due to the greater number of nodule bacteria, the crop managed to form a larger vegetative mass, which will allow more symbiotic nitrogen to remain in the soil after harvesting.

1.1.3.3. Ecological impact of the studied crops on agroecological indicators of soil

Soil is a system that meets the needs of plant organisms for nutrients and water, is a habitat, and provides the root system with the necessary amount of air and heat for full growth and development. Crop yields also depend on the quality of soil.

As a result of our research, we found out how seed alfalfa and eastern galega affected the agro-ecological indicators of the soil.

One of the most important indicators responsible for soil fertility is humus.

As our research has shown, the humus content depended on the crop grown in favour of eastern galega (Fig. 22).

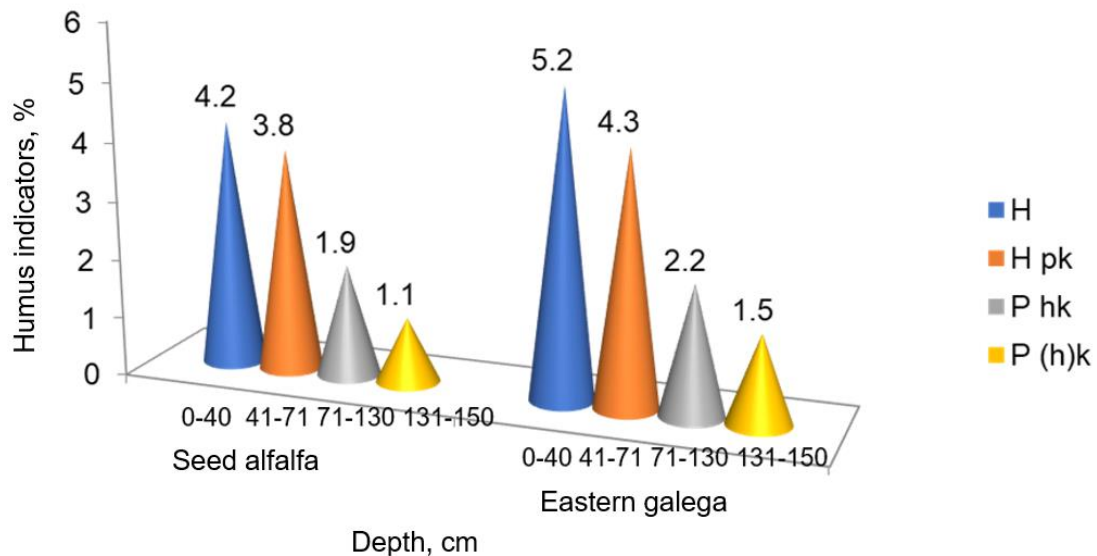


Fig. 22 – Indicators of humus content depending on seed alfalfa and eastern galega (average for 2022-2024), %.

It was found that when growing alfalfa, the sowing humus indicators were lower compared to the variants where eastern galega was grown along the horizons, depending on the depth. Thus, at the depth of 0-40 cm, the humus content for alfalfa cultivation was within 4.2%, while for the cultivation of eastern galega the studied indicator was 5.2%.

With increasing depth of the horizon, a decrease in the studied parameter was observed for both crops, but the advantage was for galega.

As a result of the data analysis, it was found that at a depth of 41-70 cm, the humus content was 3.8% (sowing alfalfa) and 4.3% (eastern galega).

As for the lower horizons, the indicators were almost the same. It was found that at the depth of 71-130 cm, the studied indicator was 1.9% (sowing alfalfa) and 2.2% (eastern galega), respectively. A similar trend was recorded at a depth of 131-150 cm, which was 1.1% (sowing alfalfa) and 1.5% (eastern galega), respectively.

The analysis of the data revealed that the cultivation of eastern galega restores the humified layer compared to the plots under sowing alfalfa, with a particularly noticeable effect in the topsoil.

In our research, we found out how the cultivated crops, namely alfalfa and eastern galega, affected the pH of the soil environment (Fig. 23).

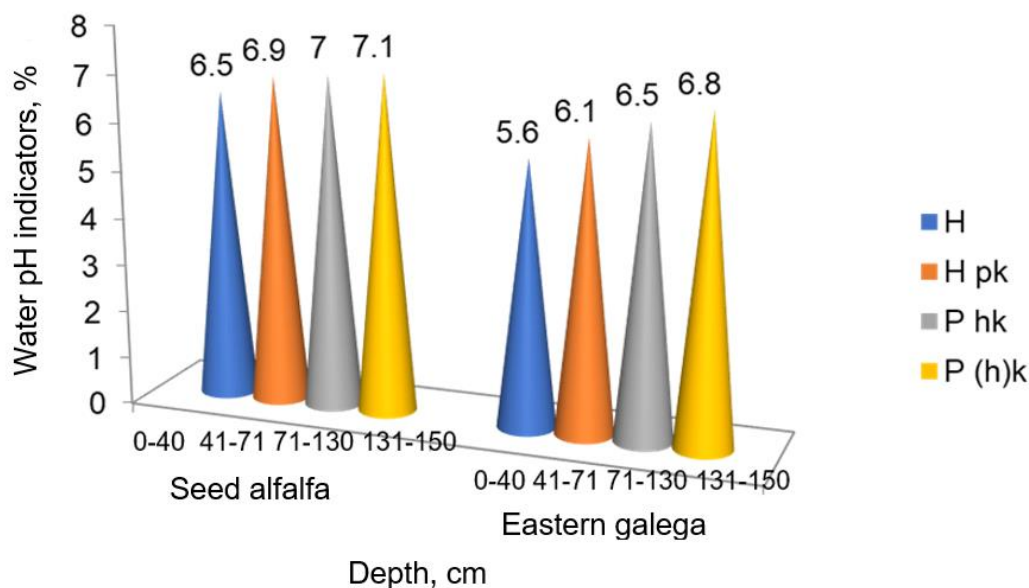


Fig. 23 – Water pH values depending on seed alfalfa and eastern galega (average for 2022-2024)

For most crops, pH close to neutral is optimal. This ensures the most positive growth and development of the root system, as well as the full provision of the nutrition process.

Both crops under study are legumes, which are known to raise micro- and macroelements into the upper layers of the soil due to their taproot system, which subsequently has a favourable effect on the condition of the soil itself and subsequent Our research has shown that the cultivation of both seed alfalfa and eastern galega changed the pH values deeper into the horizons.

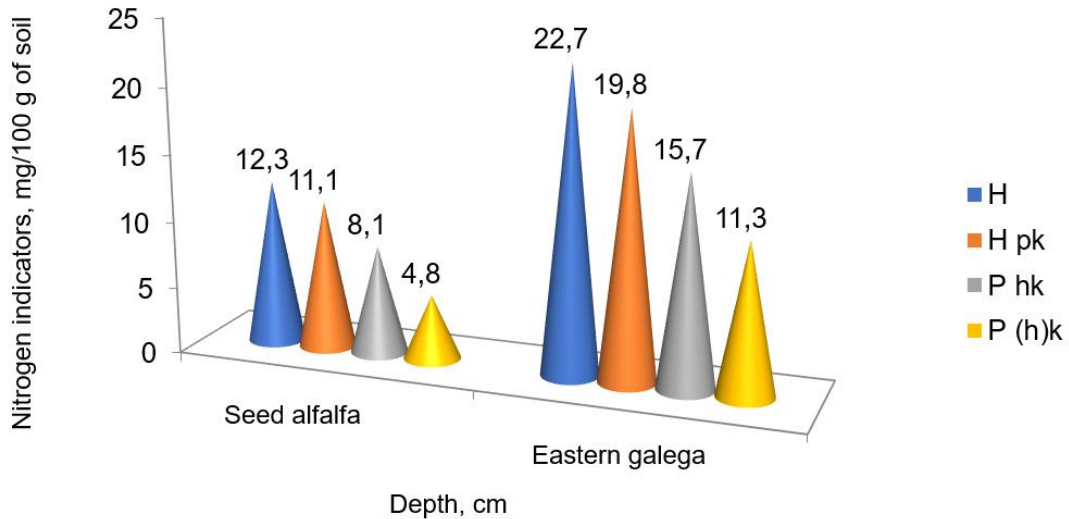
Thus, during cultivation of sowing alfalfa, the following indicators were recorded: in the high horizon at the depth of 0-40 cm, pH was 6.5, and at the depth of 41-70 cm, pH was 6.9, while in the lower horizon, P_{hk} was pH 7.0 and $P_{(h)k}$ was pH 7.1. It was found that there was an increase in alkalinity, which will negatively affect the absorption of the following elements by plants, such as phosphorus, iron, manganese, copper, zinc, boron due to the formation of insoluble hydroxides.

During cultivation of eastern galega, the pH of the soil medium was at the optimum level by horizons, namely: in the high horizon at the depth of 0-40 cm, the

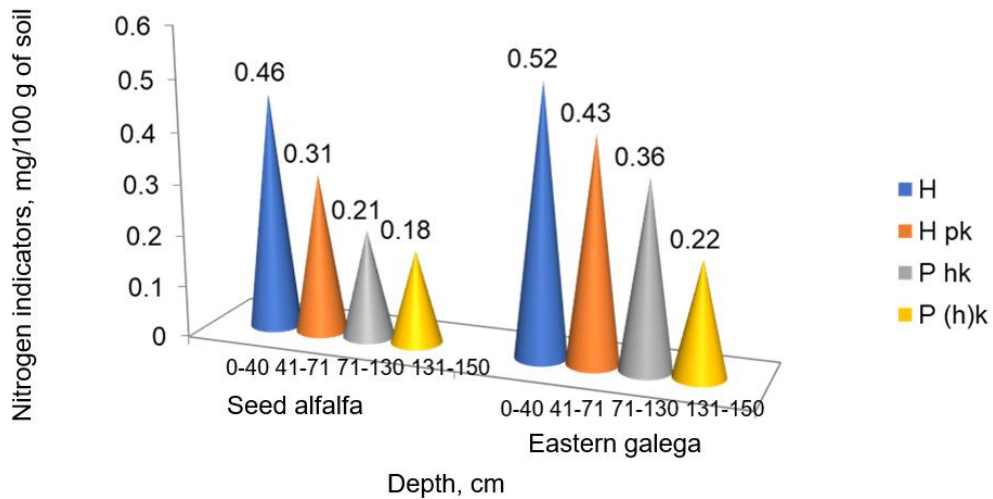
pH was within 5.6, at the depth of 41-70 cm, the pH was 6.1, while in the lower horizons, P_{hk} was pH 6.5 and $P_{(h)k}$ was pH 6.8.

Thus, the cultivation of eastern galega helps to maintain pH of the soil environment at an optimal level.

Also, in our research, we paid attention to how the cultivation of alfalfa and eastern galega affected the accumulation of nitrogen (Fig. 24).



a – alkaline-hydrolysed



b - total nitrogen

Fig. 24 – Nitrogen indicators depending on seed alfalfa and eastern galega (average for 2022-2024), mg/100g of soil

According to the results of the research, the quantitative index of alkaline hydrolysed and total nitrogen decreased along the studied soil horizons, but in the areas

where eastern galea was grown compared to the areas where sowing alfalfa was grown, the indicators were higher.

At the depth of 0-40 cm in the variants where seed alfalfa was grown, alkaline hydrolysed nitrogen was 12.3 mg/100g of soil, and in the variants with eastern galega this figure was higher and amounted to 22.7 mg/100g of soil, while the total nitrogen was recorded lower and amounted to 0.45 mg/100g of soil and 0.52 mg/100g of soil, respectively.

With increasing depth, nitrogen accumulation decreased. Thus, at the depth of 41-70 cm, the studied indicator was 11.1 mg/100g of soil (seed alfalfa) and 19.8 mg/100g of soil (eastern galega) of alkaline hydrolysed nitrogen. At the same time, the indicators of total nitrogen at the same depth were 0.31 mg/100g of soil (sowing alfalfa) and 0.43 mg/100g of soil (eastern galega).

It was found that the indicators of alkaline hydrolysed nitrogen in the plots for growing alfalfa at the depth of 71-130 and 131-150 cm were 8.1 and 4.8 mg/100g of soil, respectively, and for growing eastern galega the indicators were higher, respectively, 7.6 and 6.5 mg/100g of soil.

Indicators of total nitrogen in the cultivation of seed alfalfa on the horizons P_{hk} and $P_{(h)k}$ were 0.21 mg/100g of soil and 0.18 mg/100g of soil, and in the variants where eastern galega was grown, these indicators were as follows: on the horizon $P_{hk} = 0.36$ mg/100g of soil and $P_{(h)k} = 0.22$ mg/100g of soil, which was higher than in the first plots on average by 0.15 and 0.04 mg/100g of soil.

Thus, it was found that the nitrogen indicators for the cultivation of eastern galega were higher compared to the variants where sowing alfalfa was grown. This tendency was observed due to the accumulation of more organic matter and more symbiotic nitrogen accumulated in the crops of eastern galega.

In our research, we also paid attention to the accumulation of phosphorus in legume crops.

Phosphorus is absorbed by plant organisms in smaller quantities than nitrogen, although its role is also extremely important in the plant life cycle.

We found that the amount of phosphorus varied along the horizons, as well as depending on the crop under study (Fig. 25).

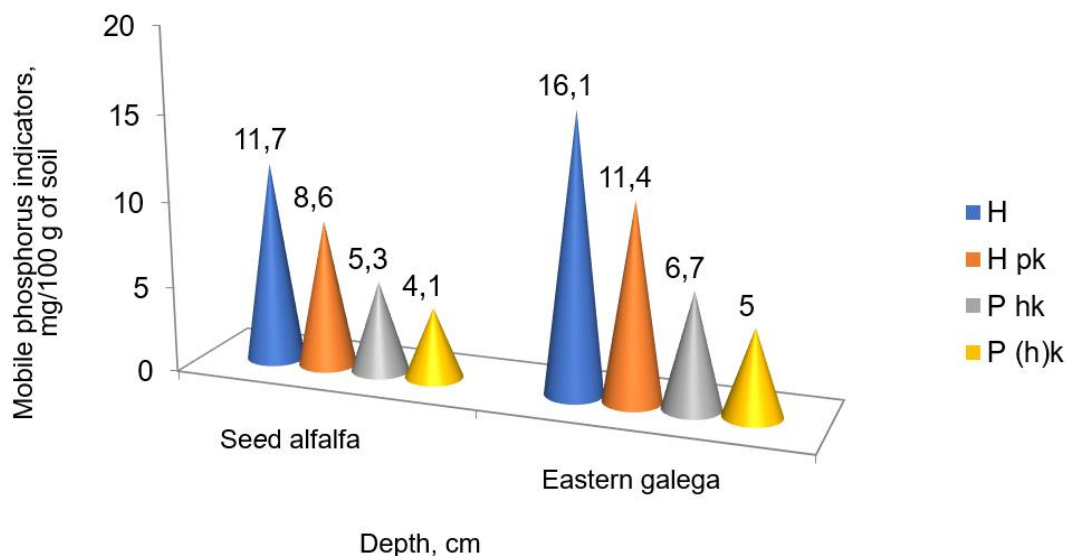


Fig. 25 – Indicators of mobile phosphorus content (according to Machyhin) depending on sowing alfalfa and eastern galega (average for 2022-2024), mg/100g of soil

With increasing depth in the horizons, the values of mobile phosphorus decreased for both crops under study.

When growing seed alfalfa, on the H-0-40 cm horizon, mobile phosphorus was 11.7 mg/100g of soil, while when growing eastern galega it was 4.4 mg/100g of soil higher.

At the H_{pk} horizon, phosphorus was within 8.6 mg/100g of soil (seed alfalfa) and 11.4 mg/100g of soil (Eastern galega), while at P_{hk} and $P_{(h)k}$, the studied indicator was 5.3 and 4.1 mg/100g of soil (seed alfalfa) and 6.7 and 5.0 mg/100g of soil (Eastern galega), respectively.

It was found that during cultivation of eastern galega there is an increase in mobile phosphorus in the soil, which exceeded similar indicators in crops of sowing alfalfa in the range of 18.0-27.3%.

We determined how the amount of potassium varied along the soil horizons (Fig. 26).

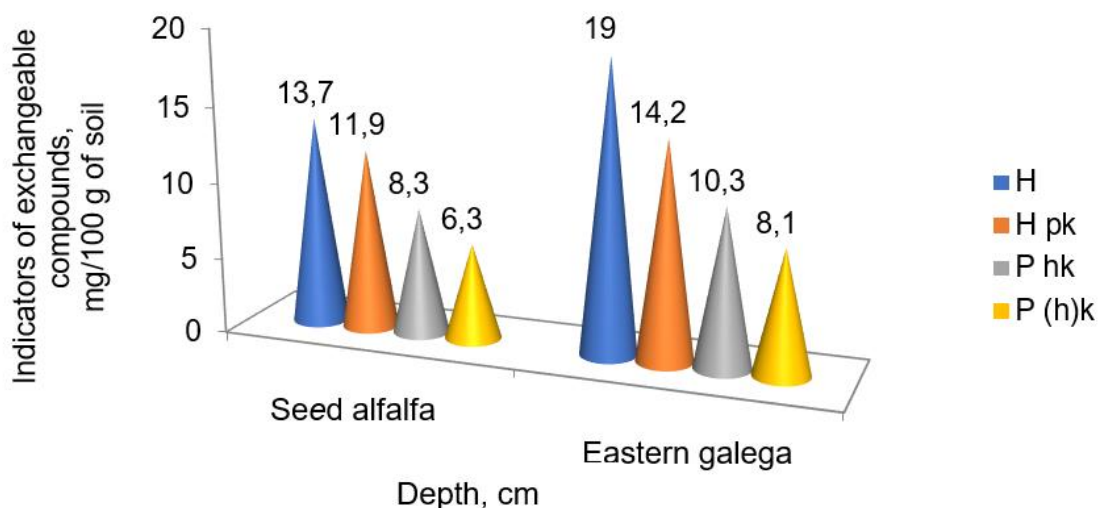


Fig. 26 – Indicators of exchangeable potassium compounds (according to Machyhin) depending on seed alfalfa and eastern galega (average for 2022-2024), mg/100g of soil

As a result of our research, it was found that the exchangeable potassium for growing seed alfalfa on the H horizon was 13.7 mg/100g of soil, while for growing eastern galega the studied indicator was 19.0 mg/100g of soil and was higher than in the previous areas within 5.3 mg/100g of soil.

It was found that, as in the study of other indicators, the indicators decreased deeper into the soil horizons.

Thus, on the H_{pk} horizon, the potassium content was 11.9 mg/100g of soil (sowing alfalfa) and 14.2 mg/100g of soil (eastern galega), while on the P_{hk} and $P_{(h)k}$ horizons, respectively, it was 8.3 and 6.3 mg/100g of soil (sowing alfalfa) and 10.3 and 8.1 mg/100g of soil (eastern galega).

It was found that the amount of exchangeable potassium was higher under the cultivation of eastern galega compared to sowing alfalfa in the range of 22.2-27.8%.

As a result of our research, it was found that the cultivation of eastern galega contributes to the reproduction of soil fertility by increasing humus, nitrogen, nitrogen phosphorus and potassium, which will have a favourable effect on the yield of subsequent crops in the crop rotation and improve the agro-ecological parameters of soil environment.

Conclusions

As a result of anthropogenic impact, namely irrational agricultural activities, the soil environment is degraded.

As a result of monoculture cultivation, there is a negative dynamics of humus and nutrient content in the soil, which leads to deterioration of agro-ecological indicators and contributes to various degradation processes.

The restoration of the soil environment and agro-ecological parameters is possible through mandatory cultivation of perennial legumes in crop rotation, which have high unifying properties, allowing to accumulate large amounts of organic matter and biological nitrogen.

1. According to the results of our research, during 2022-2024, there was a decrease in the humus content from 4.9 to 4.7%, as well as nutrients in the soil due to the cultivation of monocultures: in 2022, the indicators of nitrogen, phosphorus and potassium were 13.7, 13.4, respectively, 13.7 mg/100 g; in 2024, they were 12.9; 13.1; 13.2 mg/100 g, which were lower than the benchmark and agroecological certification data for nutrients and ranged from 12.6-42%.

2. It has been established that the cultivation of legumes leads to the accumulation of biological nitrogen. In the case of sowing alfalfa, on average, over the years of research, this figure was 80 kg/ha, while in the case of growing eastern galega it was 28 kg/ha higher.

3. Our research has shown that the yield of eastern galega was higher than that of seed alfalfa. Thus, the average yield of galega over the years of research was 15.7 t/ha, while the yield of seed alfalfa 8.3 t/ha, which was lower compared to galega within 7.4 t/ha. It has been established that eastern galega has a higher yield compared to sowing alfalfa, which, accordingly, will ensure the content of more organic matter, post-harvest residues, root residues in the soil and accumulates more symbiotic nitrogen.

4. As a result of the research, it was found that the cultivation of eastern galega leads to the accumulation of humus and nutrients on the H horizon, which provided, on average, the following indicators over the years of research: humus - 5.2 %; pH -

6.7; alkaline hydrolysed nitrogen - 22.7 mg/100g of soil, total nitrogen - 0.52 mg/100g of soil; mobile phosphorus - 16.1 mg/100g of soil; exchangeable potassium - 19.0 mg/100g of soil; and in comparison with sowing alfalfa, it was higher.

5. The following positive changes in soil environment occur during cultivation of eastern galega: soil structuring, reduction of erosion risks; accumulation of soil moisture; restoration of soil organisms, as well as an increase in soil biological activity; reduction of anthropogenic load on the soil; restoration of ecological balance.

1.2 Особливості агротехнології вирощування еспарцету за сівби влітку в Степу України

Україна має надзвичайно сприятливі природно-соціальні умови для розвитку сільського господарства: помірний клімат, родючі ґрунти, великі площі орних земель та хліборобські традиції. Наша країна має великий потенціал для суттєвого росту виробництва сільськогосподарської продукції, зокрема, білкових кормів рослинного походження [35-44]. Весняно-літні посухи, що все частіше проявляються в зоні Степу України, негативно впливають на результати сільськогосподарського виробництва і вносять істотні корективи в їх статистику [45].

У таких умовах для ефективного застосування сівби влітку еспарцету різних видів і сортів, які мають свої морфологічні, біологічні особливості та різне господарське призначення, необхідно усвідомлювати взаємозв'язок процесів, які відбуваються в рослинах, ґрунті та навколишньому середовищі внаслідок застосування певних елементів технології. Важливо визначити всі причини, через які можна отримати негативний результат, та своєчасно уникнути їх впливу на посіви [46-49].

Проблеми підвищення ефективності сівби еспарцету влітку виникають внаслідок низької схожості та дуже повільного проростання його насіння [50-58].

Насіння різних видів еспарцету, внаслідок своїх морфологічних та біологічних особливостей, мають неоднакову реакцію на вплив цих факторів [59]. До найбільш характерних видових відмінностей за ботанічними ознаками є розміри, маса 1000 бобів і насіння, вміст твердого насіння, розвиток та глибина залягання кореневої системи [60, 61]. Наприклад, боби і насіння еспарцету піщаного значно поступаються іншим видам за розмірами та масою 1000 бобів (табл. 1) [62].

Таблиця 1.

Розміри і вага бобів та насіння у різних видів еспарцету

Види еспарцету	Розміри, мм						Маса 1000 штук, г	
	Бобів			Насіння			Бобів	Насіння
	Довжина	Ширина	Товщина	Довжина	Ширина	Товщина		
Звичайний (посівний) 553	6-8	4-5	3,5-4	3-5	2-3	1,5-2	20-22	12-16
Закавказький	6-9	4-5	3-4	3-6	2-3	1,5-2	20-22	12-16
Піщаний 1251	4,5-5,5	3-5	2,5-4	2-4	1,5-2	1-2	11-14	8-10

За даними Українського філіалу Всесоюзного науково-дослідного інституту кормів [62], темпи проростання насіння у різних видів еспарцету також неоднакові (табл. 2).

Таблиця 2.

Проростання насіння різних видів еспарцету в польових умовах

Види еспарцету	Поява сходів, %					Польова схожість	Лабораторна схожість
	на 1-шу добу	на 3-тю добу	на 5-ту добу	на 9-ту добу	на 11-ту добу		
Звичайний 553	1	26	39	68	84	84	89
Закавказький	17	30	43	76	83	83	86
Піщаний 1251	-	6	18	43	54	54	81

Раніше від інших видів і швидшими темпами проростає насіння закавказького еспарцету. Трохи повільніше проростає насіння звичайного посівного еспарцету, а піщаний дуже відстає за темпами проростання. Крім того, у нього спостерігається значне зменшення польової схожості у порівнянні з лабораторною. Це зумовлено тим, що у дрібного насіння цього еспарцету не вистачає енергії для виносу сім'ядолей на поверхню ґрунту.

Крім того, у піщаного еспарцету буває до 25 % насіння з твердою насінневою оболонкою, яке в польових умовах зовсім не сходить, або дає сходи з великим запізненням.

Розробка способу літньої сівби обрушеним насінням суттєво покращить енергію проростання та польову схожість і цим знівелює негативний вплив належності сорту до певного виду еспарцету.

Для отримання сходів еспарцету потрібна велика кількість води – 134 % від абсолютно сухої маси насіння [62]. Тому, недостатня кількість вологи в ґрунті

може затримувати сходи еспарцету. При застосуванні сівби літом в умовах швидкого пересихання ґрунту дуже важливо раціонально використати наявну вологу та максимально швидко отримати сходи (табл. 3).

Таблиця 3.

Кількість води, потрібної для проростання насіння різних культур

Назва культури	Кількість води, % до абсолютно сухої маси насіння
Конюшина червона	173
Люцерна	171
Горох	135
Еспарцет	134
Жито	97
Овес	96
Пшениця	74
Кукурудза	64
Просо	53

Біологічні особливості еспарцету не сприяють швидкому проростанню насіння. Проблема полягає в тому, що у цієї культури для сівби, звичайно, використовують цілі боби, в яких знаходиться одна насінина. У даному випадку господарське і ботанічне поняття насіння – різні. У господарському розумінні насінням називають звичайно те, що висівають при сівбі. Насправді ж висівають не насіння, а плоди, які являють собою однонасінневі бобики. Насінням у ботанічному розумінні називають те, що міститься у середині бобика і утворилося з насінного зачатка.

Сівба обрушеним насінням сприяє його проростанню на 12-24 години швидше, підвищенню енергії проростання, польової схожості і потребує для цього меншої кількості вологи [63].

У 2011-2015 рр. нами проводились дослідження з метою визначення найкращого способу обрушення бобів еспарцету. Був випробуваний безконтактний спосіб звільнення насіння еспарцету від плодових оболонок через миттєве зменшення тиску повітря з зовнішньої сторони плодових оболонок. Передбачалось, що під час цього процесу повітря, яке знаходиться з внутрішньої сторони плодових оболонок, збільшить свій об'єм і відокремить їх одну від одної.

Для створення зовні і всередині плодових оболонок високого тиску повітря боби еспарцету розміщувались всередині камери стискання, в яку компресорною установкою нагніталось повітря з тиском 90 кг/см. В якості камери стискання використовували гідроциліндр жатки зернозбирального комбайну. Після нагнітання повітря миттєво вивільнялось внаслідок пострілу штоком гідроциліндру, плодові оболонки відривались від насіння. Зазначеного тиску було достатньо для часткового обрушення бобів, але в результаті обробки 16 % насінин було повністю зруйновано.

При вирішенні цієї проблеми добрі результати показало механічне обрушення бобів еспарцету на луцильно-шліфувальній машині, яка призначена для луцення і полірування зерна при виробництві харчових круп [64]. Ця машина налічує у своєму складі шість абразивних кругів, які розміщені один над одним на вертикально встановленому валу. Вони обертаються всередині ситового циліндру, через який пропускають боби еспарцету. У результаті їх безпосереднього контакту з абразивними кругами відбувається відокремлення насіння від плодових оболонок. Боби еспарцету, які не вдалося обрушити за один прохід, після сортування по фракціям, повертаються на повторне шліфування.

Конструкція вдосконаленої луцильно-шліфувальної машини дозволяє регулювати швидкість обертання абразивних кругів та тривалість процесу шліфування. Тому є можливість застосовувати широкий діапазон режимів інтенсивності шліфування.

Досліджували чотири режими інтенсивності шліфування: I - швидкість обертання абразивних кругів 967 обертів за 1 хвилину, продуктивність процесу шліфування – 10 кг бобів за 1 хвилину; II - швидкість обертання абразивних кругів 967 обертів за 1 хвилину, продуктивність процесу шліфування – 6 кг бобів за 1 хвилину; III - швидкість обертання абразивних кругів 2175 обертів за 1 хвилину, продуктивність процесу шліфування – 10 кг бобів за 1 хвилину; IV - швидкість обертання абразивних кругів 2175 обертів за 1 хвилину, продуктивність процесу шліфування – 6 кг бобів за 1 хвилину.

У досліді використовували насіння сорту еспарцету Аметист донецький,

ботанічний таксон *Onobrychis viciifolia Scop.*, еспарцет виколистий.

При застосуванні I режиму інтенсивності шліфування вихід обрушеного насіння за один прохід через ситовий циліндр складав 17,50 % відносно ваги всіх бобів, що спрямовувались на шліфування (табл. 4). Відносно початкової кількості насінин вихід зафіксований на рівні 22,98 %. Це найнижчий показник в досліді, який вказує на недостатню інтенсивність шліфування зумовив і неефективну роботу луцильно-шліфувальної машини.

Таблиця 4.

Вихід обрушеного насіння сорту еспарцету Аметист Донецький, залежно від режиму інтенсивності шліфування, % (2011-2015 рр.)

Фракція насіння	Вихід насіння відносно початкової, %		Маса 1000 насінин, г
	маси бобів	кількості бобів	
I режим (967 об./хв, 10 кг бобів)			
Не обрушене	73,53	75,66	18,63
Обрушене	17,50	22,98	14,20
Зруйноване	1,01	1,36	-
Плодові оболонки	7,96	-	-
II режим (967 об./хв, 6 кг бобів)			
Не обрушене	55,40	57,97	18,32
Обрушене	29,31	39,94	14,07
Зруйноване	2,12	2,89	-
Плодові оболонки	13,17	-	-
III режим (2175 об./хв, 10 кг бобів)			
Не обрушене	29,26	31,18	17,99
Обрушене	40,47	56,38	13,76
Зруйноване	8,93	12,44	-
Плодові оболонки	21,34	-	-
IV режим (2175 об./хв, 6 кг бобів)			
Не обрушене	5,01	5,45	17,63
Обрушене	43,86	65,03	12,93
Зруйноване	19,91	29,52	-
Плодові оболонки	31,22	-	-
	НІР05 = 0,92 %	НІР05 = 0,83 %	НІР05 = 0,34 г

При IV режимі спостерігався найвищий вихід обрушеного насіння за один прохід – 43,86 % від початкової маси і 65,03 % – від кількості бобів до початку шліфування. Однак цей режим також виявився неприйнятним внаслідок високого ступеня руйнування насіння – 29,52 % від їх загальної кількості.

Оптимальним виявився II режим, який при задовільній продуктивності

шліфування забезпечив вихід обрушеного насіння на рівні 39,94 % і не спричинив значного руйнування насінин, кількість яких складала 2,89 %.

Підвищення обертів шліфувальних кругів до 2175 об./хв., навіть за умови скорочення тривалості шліфування, яка відповідає параметрам III режиму, спричинило руйнування 12,44 % насіння. Такі значні втрати не виправдовують переваги від підвищеної продуктивності процесу, які спостерігалися при застосуванні цього режиму.

Питома вага відділених плодкових оболонки зростала при підвищенні інтенсивності шліфування від 7,96 % за I режиму до 31,22 % при IV режимі.

Аналогічні кореляційні зв'язки спостерігалися між інтенсивністю шліфування та кількістю зруйнованого насіння, питома вага якого зростала від 1,01 до 19,91 %.

Під час досліджень відмічене, що при підвищенні інтенсивності шліфування бобів зростала ступінь здирання насінневих оболонки, тому насінини ставали дрібнішими. Маса 1000 обрушених насінин була найвищою при застосуванні I режиму шліфування – 14,20 г. У IV режимі вона зменшилась до 12,93 г.

При інтенсивності шліфування від першого до четвертого режиму зменшувалася і маса 1000 бобів, які не були обрушені протягом першого проходу через луцильно-шліфувальну машину та поверталися на повторну обробку. Цей показник після застосування першого режиму складав 18,63 г, після четвертого – 17,63 г. Така закономірність пояснюється тим, що в процесі першого циклу шліфування обрушувалися переважно крупні боби, а дрібніші, з міцними, щільно прилеглими до насінин плодовими оболонками, залишалися необрушеними і після сортування поверталися в луцильно-шліфувальну машину.

Найкращі показники виходу обрушеного насіння, енергії проростання та польової схожості забезпечило шліфування бобиків еспарцету в делікатному режимі. Цей режим забезпечує вихід обрушеного насіння за один прохід до 30 % від початкової ваги.

Аналіз впливу інтенсивності шліфування на показник маси 1000

обрушених насінин дозволяє зробити висновок, що за інтенсивного шліфування продуктивність процесу дещо вища, порівняно з делікатним, але делікатне дозволяє знизити кількість зруйнованого насіння та суттєво покращити його якість. Це вказує на недоцільність підвищення інтенсивності шліфування. Незначне підвищення продуктивності процесу обрушення має наслідком суттєве погіршення якості насіння.

Наслідком інтенсивного шліфування є часткове здирання насінневих оболонок, що суттєво впливає на масу 1000 обрушених насінин. З підвищенням інтенсивності шліфування цей показник зменшувався на 0,74 г і складав 13,33 г (табл. 5).

Таблиця 5.

Маса 1000 насінин залежно від інтенсивності шліфування, 2011-2015 рр.

Стан насіння після шліфування	Маса 1000 насінин, г
Без обробки (контроль)	19,17
Делікатне шліфування (967 об./хв)	
Необрушене	18,63
Обрушене	14,07
Інтенсивне шліфування (2175 об./хв)	
Необрушене	17,63
Обрушене	13,33
НІР ₀₅ = 0,34 г	

Таку ж закономірність відзначено і при спостереженні за зміною маси 1000 необрушених бобів у зв'язку із зміною інтенсивності шліфування. У інтенсивному режимі маса 1000 бобів після першого циклу шліфування зменшилась на 1,00 г і склала 17,63 г. З цього можна зробити висновок, що при обробці насінневого матеріалу еспарцету у луцильно-шліфувальній машині, в першу чергу, обрушуються крупні боби, а ті що з меншою масою повертаються на повторне шліфування.

Значну продуктивність процесу та одночасно делікатне шліфування забезпечує наявність блоку з абразивними кругами (табл. 6).

Таблиця 6.

Енергія проростання насіння залежно від способів луцення бобів еспарцету, 2011-2015 рр.

Спосіб луцення бобів	Енергія проростання		Лабораторна схожість	
	%	відхилення від контролю, %	%	відхилення від контролю, %
Без обробки (контроль)	50,33	-	70,33	-
Миттєва зміна тиску повітря	24,00	- 26,33	27,33	- 43,00
Делікатне шліфування	74,33	+ 24,00	79,33	+ 9,00
Делікатне шліфування + скарифікація	68,67	+ 18,34	75,00	+ 4,67
Інтенсивне шліфування	71,00	+ 20,67	76,33	+ 6,00
Інтенсивне шліфування + скарифікація	59,33	+ 9,00	61,67	- 8,66
НІР ₀₅	5,64		7,31	

Саме при делікатному режимі шліфування було отримано ефект скарифікації і не завдано значних пошкоджень зародкам. У результаті обробки суттєво підвищилась енергія проростання насіння. Вона була на рівні 74,33 %, що на 24,00 % більше у порівнянні з контролем. Найвища лабораторна схожість (79 %) була отримана за делікатного режиму шліфування (рис. 1).



Рисунок 1. Енергія проростання насіння залежно від способів обробки бобів еспарцету, 2011-2015 рр.

У результаті застосування такого способу механічної обробки схожість

насіння підвищилась тільки на 9% у порівнянні з контролем (рис. 2).

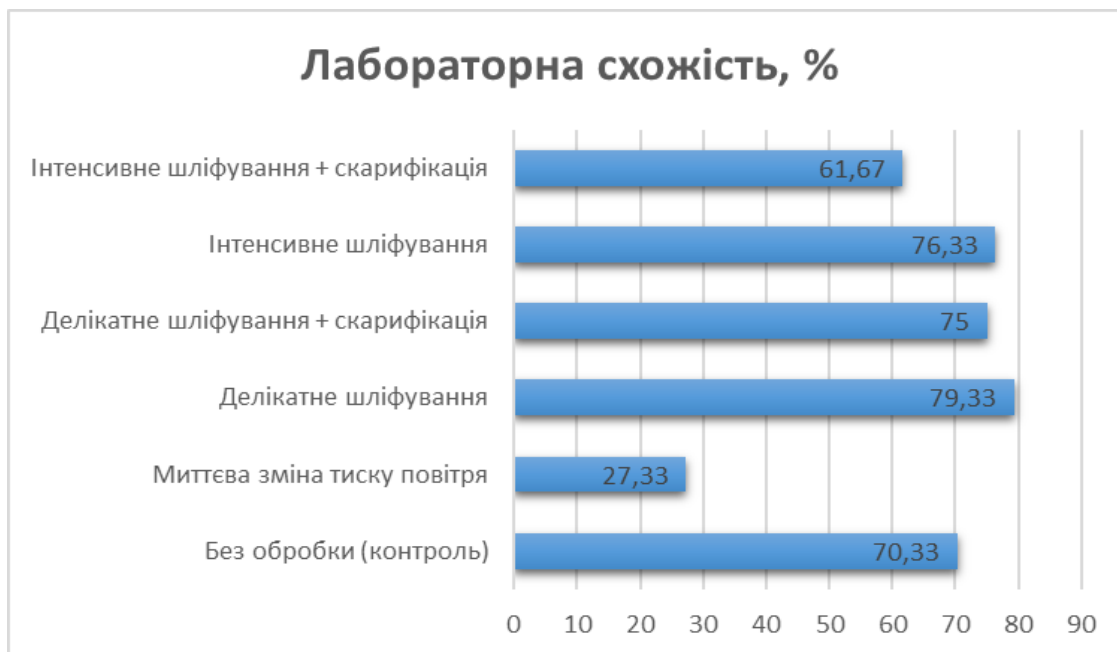


Рисунок 2. Лабораторна схожість насіння залежно від способів оброблення бобів еспарцету, 2011-2015 рр.

У результаті застосування безконтактного способу певну частину бобів еспарцету вдалось обрушити, але при цьому 16 % насіння було зруйновано. Порівняно з контролем схожість знизилась на 43 %.

Наявність блоку з великою кількістю абразивних каменів забезпечило значну продуктивність процесу та, одночасно, дозволило провести делікатне шліфування. При такому режимі було отримано ефект скарифікації і не завдано значних пошкоджень зародкам.

Відокремлення насіння еспарцету від плодових оболонок виявилось ефективним способом підвищення енергії проростання і схожості насіння еспарцету. А найкращим способом такого відокремлення виявилось шліфування бобів на луцильно-шліфувальній машині в режимі, при якому вихід вилущеного насіння за перший цикл шліфування складав 30-35 % від його початкової ваги.

Існують різні погляди на строки літньої сівби свіжозібраним насінням еспарцету. Перевага ранньої сівби полягає в тому, що до зими рослини встигають розвинути та зміцніти. З цієї точки зору найкращим строком є кінець червня – перша половина липня [62]. Відомо, що оптимальна температура для

проростання насіння еспарцету – 18-30 °С [65]. В останні роки у червні – липні температура на поверхні ґрунту досягає 61 °С. Тому сходи з’являються дуже зріджені та ослаблені. Такі посіви часто гинуть. За результатами метеорологічних спостережень Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН оптимальні температури наступають у середині вересня. Та за сівби в цей час рослини не встигають розвинути до припинення вегетації. Тому деякі дослідники рекомендують проводити сівбу у першій – другій декадах серпня. Передбачається, що за цього строку сівби залишається достатньо часу для нормального розвитку рослин у літньо-осінній період на фоні зниження температури ґрунту та повітря. Виникла необхідність проведення дослідів з визначення оптимального строку літньої сівби еспарцету в умовах східної частини північного Степу України.

Схема дослідів передбачала проведення сівби у три строки: 12 липня, 12 серпня та 12 вересня. Сіяли обрушеним насінням еспарцету селекційного номера 89/05 у чотирикратному повторенні сівалкою СКС-6-10 з апаратом центрального висіву суцільним рядовим способом з шириною міжрядь 15 см на глибину 3-4 см. Облікова площа ділянки 60 м². Норма висіву – 4,5 млн. схожих насінин на 1 га.

За результатами досліджень встановлено, що при сівбі 12 липня насіння проростало в умовах високих температур повітря і ґрунту. Це призвело до пригнічення сходів і погіршення польової схожості, яка складала 51,4 % (табл. 7).

Таблиця 7.

Польова схожість обрушеного насіння еспарцету за різних строків сівби, 2011-2015 рр.

Строк сівби	Висіяно насіння, шт./м ²	Кількість сходів, шт./м ²	Польова схожість, %	Відхилення, +/-
12 липня (контроль)	592	304	51,4	–
12 серпня	592	352	59,5	+ 8,1
12 вересня	592	401	67,7	+ 16,3

За сівби 12 серпня для насіння еспарцету склалися більш сприятливі умови для проростання. Це було пов’язано зі збільшення ґрунтової вологи за

рахунок серпневих дощів. Порівняно з контролем польова схожість підвищувалась на 8,1 % та складала 59,5 %.

Найбільш сприятливим строком сівби для отримання сходів виявилася сівба у вересні. Зниження середньодобової температури повітря та додаткове накопичення ґрунтової вологи дозволило підвищити польову схожість насіння на 16,3 %, порівняно з контролем.

Окрім зниження польової схожості насіння, рослини еспарцету за літньої сівби піддаються негативному впливу високих температур на початкових етапах органогенезу, що, в свою чергу, призводить до загибелі рослин (табл. 8). Несприятливі кліматичні умови на початкових етапах розвитку за сівби 12 липня призводили до великої кількості загиблих рослин – 29,6 %. Сівба еспарцету у серпні дозволяла знизити відсоток загиблих до 9,7 %.

Таблиця 8.

Загибель рослин еспарцету на початкових етапах розвитку, 2011-2015 рр.

Строк сівби	Кількість сходів, шт./м ²	Густина стояння рослин, шт./м ²			Кількість загиблих рослин, %		
		I лист	II лист	III лист	I лист	II лист	III лист
12 липня (контроль)	304	285	261	214	6,2	14,1	29,6
12 серпня	352	336	326	318	4,5	7,4	9,7
12 вересня	401	395	392	390	1,5	2,2	2,7

Найбільше рослин збереглися за сівби 12 вересня. Відсоток загиблих за цього строку був, у середньому за роки досліджень, найнижчим серед усіх варіантів, та склав 2,7 %.

За сівби 12 липня та 12 серпня повні сходи були отримані на 10 добу, в той час, як за сівби у вересні цей період скоротився на одну добу та становив 9 діб.

Подібна ситуація простежувалась і при появі першого справжнього листка. За перших двох строків сівби цей період склав 18 діб, а за сівби 12 вересня період сівба – поява першого справжнього листка становив 17 діб, тобто також відбулось прискорення проходження міжфазного періоду на 1 добу. На наступні міжфазні

періоди впливу строків сівби не було.

На час припинення осінньої вегетації посіви еспарцету були зрідженими через значне зменшення польової схожості та загибель рослин на початкових етапах органогенезу (табл. 9).

Таблиця 9.

Біометричні показники рослин еспарцету перед припиненням вегетації залежно від строків сівби, 2011-2015 рр.

Строки сівби	Кількість пагонів, шт.	Довжина пагонів, см	Густота стояння рослин, шт./м ²
12 липня (контроль)	6	10	192
12 серпня	4	9	307
12 вересня	2	6	381

Залежно від строків сівби густота стояння рослин була наступною: за першого строку сівби – 192 шт./м²; за другого – 307 шт./м²; за третього – 381 шт./м². Це, в свою чергу, вплинуло на формування біометричних показників рослин. Так, кількість пагонів знижувалась залежно від строку сівби. Найбільшою вона була за першого строку – 6 шт. За серпневого строку їх кількість скоротилась на 2 шт., а за сівби у вересні – на 4 шт.

Аналіз перезимівлі посівів показав, що найменший показник загибелі відмічений на посівах першого строку – 12 липня. Кількість загиблих рослин склала 12,5 % (табл. 10).

Таблиця 10.

Стан перезимівлі посівів еспарцету залежно від строків сівби, 2011-2015 рр.

Строки сівби	Кількість рослин, шт./м ²		Кількість загиблих рослин взимку, %	Відхилення, +/-
	перед припиненням вегетації	після відновлення вегетації		
12 липня (контроль)	192	168	12,5	–
12 серпня	307	260	15,3	+ 2,8
12 вересня	381	213	44,1	– 31,6

Рослини, які вижили на цих посівах під час літньо-осінньої вегетації мали достатньо часу, щоб добре розвинулись і накопичити достатню кількість поживних речовин. На підставі підрахунку густоти стояння рослин зроблено висновок, що добра перезимівля не компенсувала втрат великої частки рослин у несприятливих умовах літньої вегетації першого року життя. Навесні спостерігалась суттєва зрідженість посівів з густотою стояння рослин 168 шт./м².

За останнього строку сівби (12.09), навіть при найкращих умовах для вегетації, не встигли до зими утворити достатньо розвинуту вегетативну і кореневу системи, внаслідок чого вони характеризувались слабкою перезимівлею. Загибель рослин досягала 44,1 %, що на 31,6 % більше, ніж на літніх посівах, проведених 12 липня. Тому, за нормальної густоти стояння рослин на час припинення осінньої вегетації, навесні ці посіви були зрідженими, густота стояння рослин складала 213 шт./м².

Найкращий стан посівів після відновлення вегетації був зафіксований на ділянках, які засіяні 12 серпня. Незважаючи на те, що восени такі посіви мали не найвищу густоту стояння, навесні їх налічувалось 260 рослин на 1 м², що на 34-85 шт./м² більше порівняно з іншими строками сівби. Цей строк сівби забезпечив задовільні умови для виживання і нормального розвитку рослин у літньо-осінній період та сприяв формуванню достатньої зимостійкості.

Добрий стан посівів другого строку сівби (12.08) навесні обумовив кращу стійкість до збудників грибкових захворювань. Загальна поширеність хвороб на початку бутонізації склала 9 % (табл. 11).

Таблиця 11.

Поширення хвороб на рослинах еспарцету залежно від стоків сівби,
2011-2015 рр.

Строк сівби	Ступінь захворювань, %				Загальна поширеність захворювань, %	Відхилення, +/-
	аско-хітозом	іржею	фузаріозом	борошністою россою		
12 липня (контроль)	5	9	8	7	14	–
12 серпня	2	4	2	5	9	– 5
12 вересня	4	7	5	13	19	+ 5

Загальна поширеність захворювань за першого строку (12.07) була вищою за другий строк на 5 %.

Найбільше ураження рослин хворобами (19 %) відмічалось за сівби 12 вересня.

У зв'язку з тим, що посіви першого строку сівби (12.07) розвивались більш тривалий період при сухій та спекотній погоді, рослини з них сильніше уражались іржею. Ступінь поширення цієї хвороби складав 9 %, інтенсивність розвитку була на рівні 15 % (табл. 12).

Борошниста роса ширше розповсюджувалась на посівах 12 вересня, які восени мали більш густу, ніжну і соковиту вегетативну масу. За низьких нічних температурах повітря такі рослини були кращим середовищем для розвитку борошнистої роси. На початку бутонізації ступінь поширення цієї хвороби був на рівні 13 %, інтенсивність розвитку – 15 %.

Таблиця 12.

Інтенсивність розвитку хвороб на рослинах еспарцету залежно від строків сівби, 2011-2015 рр.

Строки сівби	Інтенсивність захворювання, %			
	аско-хітозом	іржею	фузаріозом	борошнистою росою
12 липня (контроль)	5	15	10	10
12 серпня	5	10	5	5
12 вересня	10	15	5	15

За сівби 12 серпня інтенсивність розвитку хвороб була мінімальна – 5 %, що на 5-10 % менше порівняно із зрідженими посівами, які мали недостатню стійкість до розповсюдження збудників хвороб і несприятливих факторів зимового періоду.

Внаслідок найкращого стану після перезимівлі та достатньо високої стійкості до розповсюдження збудників хвороб посіви еспарцету, проведені 12 серпня, показали найвищу урожайність зеленої маси (24,3 т/га) і насіння (0,93 т/га), прибавка до контролю склала 7,7 т/га та 0,41 т/га відповідно (табл. 13). Сівба у вересні сприяла також підвищенню врожайності зеленої маси (+1,8 т/га)

та насіння (+0,15 т/га) порівняно з контролем.

Таблиця 13.

Економічна ефективність літніх строків сівби еспарцету, 2011-2015 рр.

Дата сівби	Зелена маса			Насіння		
	урожайність, т/га	собівартість 1 т, грн	рентабельність, %	урожайність, т/га	собівартість 1 т, грн	рентабельність, %
12 липня (контроль)	16,6	301	165,6	0,52	9231	116,7
12 серпня	24,3	206	288,8	0,93	5161	287,5
12 вересня	18,4	272	194,4	0,67	7164	179,2

В таблиці 13 наведено розрахунок економічної ефективності літніх строків сівби еспарцету за 2011-2015 роки. Собівартість 1 т зеленої маси еспарцету була найвищою за сівби 12 липня – 301 грн.

За сівби 12 вересня цей показник був нижчим за контроль на 29 грн. Найбільше зниження собівартості продукції ми отримали за сівби еспарцету 12 серпня. Зниження за цим показником порівняно з контролем було 95 грн. Собівартість однієї тони насіння за цього строку сівби також була найкращою серед інших варіантів, забезпечивши зниження показника на 4070 грн порівняно з контролем.

Рентабельність виробництва продукції еспарцету також суттєво змінювалась відносно строків сівби. Найнижчою вона була за сівби 12 липня. Сівба у серпні дозволила отримати найвищі показники рентабельності виробництва, як зеленої маси, так і насіння. Порівняно з контролем ці показники були вищими на 123,2 % та 170,8 %, відповідно, а порівняно з сівбою у вересні – на 94,4 % та 108,3 %, відповідно.

У сучасних агротехнологіях сорт виступає як один з найголовніших елементів. Від вибору якого залежить комплекс технологічних заходів протягом вегетації для створення найбільш продуктивного ценозу. Вивчення економічної ефективності вирощування нових сортів за різних строків сівби дозволяє виділити найбільш ефективні для конкретних ґрунтово-кліматичних умов (табл. 14).

Таблиця 14.

Економічна ефективність вирощування нових сортів еспарцету залежно від строку сівби, 2018-2020 рр.

Сорт	Строк сівби	Урожайність зеленої маси, т/га	Собівартість 1 т, грн	Рентабельність, %	Урожайність насіння, т/га	Собівартість 1 т, грн	Рентабельність, %
Аметист донецький (контроль)	15.04	29,93	167	378,9	1,141	4382	356,4
	10.08	21,76	230	248,2	0,812	6158	224,8
Резонанс	15.04	32,86	152	425,8	1,230	4065	392,0
	10.08	24,34	205	289,4	0,924	5411	269,6
Красень	15.04	30,71	163	391,4	1,201	4163	380,4
	10.08	22,42	223	258,7	0,889	5624	255,6

Порівнюючи отримані економічні показники у досліді за строками сівби було встановлено, що найбільший економічний ефект при виробництві зеленої маси та насіння забезпечував весняний строк сівби 15 квітня. Собівартість однієї тонни зеленої маси залежно від сорту змінювалась від 152 грн до 167 грн, а насіння – від 4065 грн до 4382 грн. Рівень рентабельності зеленої маси за цього строку сівби був від 378,9 % до 425,8 %, а насіння – від 356,4 % до 392,0 %.

Впровадження у виробництво літнього строку сівби істотно знижує економічні показники вирощування еспарцету [66 -68]. Проте, порівнюючи сорти між собою можна виділити Резонанс, як найбільш економічно доцільний. За умов сівби у серпні цей сорт забезпечив найбільше зниження собівартості отриманої продукції порівняно з контрольним сортом Аметист донецький (собівартість однієї тонни зеленої маси знижувалась на 25 грн, а насіння – на 747 грн). Рівень рентабельності виробництва зеленої маси підвищувався порівняно з контролем на 41,2 %, а насіння – на 44,8 %.

Впровадження у виробництво нових сортів, які характеризуються більшою адаптивністю до несприятливих умов вегетації, дозволяє істотно підвищити економічну доцільність вирощування еспарцету. Сівба цієї культури у літні строки робить еспарцет більш привабливим для товаровиробників, дозволяючи не втрачати рік на вирощування еспарцету без отримання прибутку.

Вважаємо, що розробка нових способів передпосівної підготовки насіння еспарцету, які б сприяли покращанню польової схожості та надавали можливість більш широкого використання літніх посівів, буде затребувана у виробництві та забезпечить отримання значного економічного ефекту.

1.3 Особливості вирощування сільськогосподарських культур за органічного землеробства в зоні Полісся

Оскільки органічне землеробство передбачає повну відмову від використання мінеральних добрив і агрохімікатів, тому лише шляхом правильного підбору культур можна зберегти і підвищити родючість ґрунту, регулювати процеси гуміфікації та мінералізації органічної речовини, підвищити ефективність використання вологи й поживних елементів та поліпшувати фітосанітарний стан посівів. Одним із потужних чинників інтенсифікації виробництва в органічному землеробстві є сівозміна, як раціональний захід, що збільшує урожайність за зменшення матеріальних витрат [69, 70].

В органічному землеробстві сівозміни мають бути екологічно врівноваженими, максимально насиченими бобовими культурами, з їх вирощуванням в основних та проміжних посівах, використанням на добриво вторинної продукції рослинництва, які збагачують ґрунт на органічну речовину, поліпшують його азотний режим, сприяють ефективнішому використанню біологічного потенціалу природних ресурсів, охорони ґрунтів та навколишнього середовища [71, 72]. Велике значення мають біологічні й мікробіологічні препарати та добрива нового покоління з метою отримання екологічно безпечної та якісної продукції [73].

Розробці ефективних технологічних заходів у науково обґрунтованих сівозмінах в органічному землеробстві для різних зон України, в основному на родючих ґрунтах, присвячені праці відомих вчених (П.І. Бойко, В.О. Єщенко, М.К. Шикула, І.А. Шувар, В.М. Писаренко, В.В. Пиндус та ін.). Однак, за сучасного стану сільськогосподарського виробництва, потребують удосконалення агротехнічні заходи у короткоротаційних сівозмінах для господарств, що знаходяться в зоні Полісся на різних типах ґрунтів [74].

1.3.1 Вплив різних систем удобрення в короткоротаційній зерно-просапній сівозміні на врожайність культур, якість продукції та родючість дернового оглеєного ґрунту

Дослідження проводилися на дерновому глеюватому супіщаному ґрунті дослідного поля Інституту сільського господарства Полісся НААН, що характеризувався такими показниками: вміст гумусу – 2,3 %, гідролітична кислотність – 16 мг-екв/кг ґрунту, рН – 6,5, рухомих форм фосфору та обмінного калію, відповідно – 153 і 94 мг/кг ґрунту. У короткоротаційній сівозміні (квасоля – жито озиме – картопля) вивчалися основні варіанти системи удобрення: 1 – контроль (без добрив); 2 – органічна: з використанням підстилкового гною, побічної продукції жита і квасолі, сидерату редьки олійної; 3 – органічна: поєднання засобів біологізації з природними мінералами (фосфоритне борошно, сульфат калію), 4 – органо-мінеральна (базова): органічні добрива сумісно з традиційними мінеральними (аміачна селітра, суперфосфат, хлористий калій) (табл. 1).

Таблиця 1.

Продуктивність культур та сівозміни залежно від системи удобрення

№ вар.	Система удобрення (на 1 га сівозмінної площі)	Урожайність, т/га			Вихід зернових одиниць, т
		квасоля	жито озиме	картопля	
1	Контроль	1,66	2,55	14,6	3,17
2	10 т гною + 2 т соломи і сидерату	1,89	2,96	20,3	3,93
3	10 т гною + 2 т соломи і сидерату + P ₄₀ K ₆₀ *	2,08	3,51	21,4	4,33
4	10 т гною + 2 т соломи і сидерату + N ₃₅ P ₄₀ K ₆₀ **	2,10	4,00	23,6	4,70
	<i>НР₀₅, т/га</i>	<i>0,18</i>	<i>0,31</i>	<i>2,24</i>	-

Примітка: * – природні мінерали (фосфоритне борошно і сульфат калію); ** – традиційні мінеральні добрива (аміачна селітра, суперфосфат і хлористий калій).

У досліді вирощувалися такі культури та сорти: жито озиме – Клич, картопля – Віриня, квасоля – Панна. Для боротьби із шкідниками та хворобами культур на всіх варіантах використовувалися біологічні препарати. Дослідження проводилися за загальноприйнятими методиками для зони Полісся.

У середньому за п'ять років досліджень (2016–2020) за органічної системи удобрення (вар. 2 – гній, солома, сидерат) отримано 1,89 т/га насіння квасолі, 2,96 т/га – зерна жита озимого і 20,3 т/га – картоплі, що, відповідно, на 11 %, 35 і 16 % менше, порівняно з традиційною (базовою) системою (вар. 4 – $N_{35}P_{40}K_{60}$ + органічні добрива). Присутність азоту в складі повного мінерального добрива сприяла отриманню істотного приросту врожайності жита і картоплі відносно варіанту 3, де вносились рівноцінна доза фосфору і калію у складі фосфоритного борошна та сульфату калію.

За виходом продукції з 1 га сівозмінної площі, традиційна органо-мінеральна система удобрення забезпечила максимальну продуктивність сівозміни на рівні 4,70 т зернових одиниць, що на 19,6 і 8,5 % відповідно більше, ніж при застосуванні тільки органічних добрив та їх поєднання з фосфорно-калійними природними матеріалами.

За органічного способу вирощування культур важливо одержати якісну та безпечну для харчування продукцію. Як показують результати досліджень, отримані якісні показники вказують на переваги органічної системи удобрення (табл. 2).

Таблиця 2.

Якісні показники продукції

№ вар.	Квасоля	Жито	Картопля		
	білок, %	білок, %	крохмаль, %	вітамін С, мг%	нітрати, мг/кг
1	17,5	10,6	14,0	18,6	112
2	18,4	11,5	14,8	19,7	126
3	18,1	11,5	14,2	19,5	134
4	18,0	11,7	13,4	17,9	158

За використання засобів біологізації (вар. 2) та в їх поєднанні з природними мінералами (вар. 3), отримано збільшення вмісту білка в зерні квасолі (на 0,1–0,4 %) та крохмалю і вітаміну С в бульбах картоплі (на 0,8–1,4 % і 1,6–1,8 мг%, відповідно), порівняно з органо-мінеральною системою удобрення. Разом з тим, за останньої відмічено на 0,2 % більше білка в зерні жита, ніж за органічної системи.

Особливо важливо за вирощування органічної продукції, контролювати наявність нітратів, оскільки вони є небезпечними. В наших дослідженнях найвищий показник вмісту нітратів (158 мг/кг) було відмічено за внесення органічних добрив сумісно з мінеральними (вар. 4). За допустимого рівня нітратів у картоплі (ГДР=250 мг/кг) [75], дані показники є низькими і безпечними для людини.

Окрім того, нами вивчалися особливості накопичення у продукції важких металів за допомогою атомно-абсорбційного спектрометра «Квант-2А», з метою виявлення їх шкочинності з точки зору отримання екологічно безпечної продукції. За відсутності на сьогодні вітчизняних стандартів для органічної продукції, ми користувалися прийнятими показниками гранично допустимої концентрації (ГДК) [76].

Проаналізувавши рослинницьку продукцію, було виявлено, що середні показники концентрації свинцю (Pb), кадмію (Cd), цинку (Zn) та міді (Cu) знаходилися в межах нормативних вимог (згідно СанПин 42-123-4089-86 від 31.03.86). Так, у зерні жита озимого свинцю не виявлено. В бульбах картоплі вміст даного елемента у 25 раз нижче ГДК, у насінні квасолі за внесення органічних добрив – у 25, мінеральних – у 8 разів менше нормативних вимог (табл. 3).

Таблиця 3.

Вміст важких металів у рослинній продукції залежно від системи удобрення, мг/кг сухої речовини

Система удобрення	Важкі метали			
	Pb	Cd	Zn	Cu
Картопля				
Органічна	0,02	0,01	1,5	0,7
Органо-мінеральна	0,02	0,02	2,2	0,8
<i>ГДК</i>	<i>0,5</i>	<i>0,03</i>	<i>10</i>	<i>5</i>
Квасоля				
Органічна	0,02	0,04	16,2	4,3
Органо-мінеральна	0,06	0,04	17,4	4,4
<i>ГДК</i>	<i>0,5</i>	<i>0,1</i>	<i>50</i>	<i>10</i>
Жито озиме				
Органічна	не виявлено	0,08	12,4	1,4
Органо-мінеральна	не виявлено	0,09	14,2	1,6
<i>ГДК</i>	<i>0,5</i>	<i>0,1</i>	<i>50</i>	<i>10</i>

Що стосується кадмію, то в бульбах картоплі на варіанті з внесенням NPK, його кількість становила 0,02 мг/кг, на органічному варіанті вдвічі менше – 0,01 мг/кг. Вміст кадмію в квасолі однаковий – 0,04 мг/кг, в зерні жита – за органічної системи удобрення на 12 % менше органо-мінеральної. Щодо цинку і міді, то вміст даних елементів в продукції в 3–8 разів менше ГДК, хоча за органо-мінерального живлення відмічено їх збільшення на 6–47 %.

Отже, за внесення NPK концентрація важких металів збільшується в 1,2–2,0 рази, але не перевищує гранично допустимі показники. За використання помірних доз мінеральних добрив ($N_{35}P_{40}K_{60}$ на 1 га сівозмінної площі), значних відмінностей в екологічній чистоті продукції нами не встановлено, що вказує на відсутність загрози здоров'ю людей.

Одним із завдань наших досліджень було вивчення умов створення позитивного балансу поживних речовин і гумусу в ґрунті, за обмеження або відсутності мінеральних добрив та залучення до кругообігу біологічного азоту бобових культур і побічної продукції.

Проведений нами розрахунковий аналіз балансу гумусу показав, що на неудобреному фоні відбувається різке зниження родючості ґрунту: втрати гумусу складають 870 кг/га в рік (табл. 4).

Таблиця 4.

Баланс поживних речовин та гумусу в ґрунті

№ вар.	Система удобрення (на 1 га сівозмінної площі)	Баланс, кг на 1 га сівозмінної площі			
		азоту	фосфору	калію	гумусу
1	Контроль (без добрив)	-61,0	-20,0	-66,0	-870
2	10 т гною + 2 т соломи і сидерату	3,3	7,3	11,0	100
3	$P_{40}K_{60}^{***}$ + 10 т гною + 2 т соломи і сидерату	-2,7	45,7	66,0	170
4	$N_{35}P_{40}K_{60}^*$ + 10 т гною + 2 т соломи і сидерату	18,0	43,7	60,0	400

На фоні органічних добрив у рік накопичується 100 кг/га гумусу, тобто, забезпечується просте відтворення родючості ґрунту [77]. При одночасному внесенні повної дози мінеральних добрив з органічними накопичується 400 кг/га, такий приріст забезпечує розширене відтворення і підвищення родючості ґрунту.

Окрім того, оцінкою рівня родючості ґрунту є баланс основних елементів. При застосуванні тільки засобів біологізації, винос поживних речовин урожаєм повністю компенсується внесенням гною, побічної продукції й сидерату. За цих умов щорічний надлишок азоту становив 3,3 кг/га; фосфору – 7,3 і калію – 11 кг/га сівозмінної площі за інтенсивності балансу, відповідно, 103 %, 129 і 114 %.

Щодо азоту і калію, то цей показник близький до нормативу, а по фосфору – занижений. З іншого боку, враховуючи підвищений вміст і малорухомість сполук фосфорної кислоти в ґрунті, можна сподіватися на їх використання культурами з резервного запасу в майбутньому. Використання в системі удобрення фосфоритного борошна та сульфату калію створює від’ємний баланс азоту, відсутність якого повністю не компенсувалося біологічним за рахунок засобів біологізації.

Розрахунки економічної ефективності проводилися з метою визначення найбільш оптимальної системи живлення з точки зору економічної доцільності [78], які засвідчили різні показники рентабельності за традиційного та органічного способу господарювання (рис. 1).

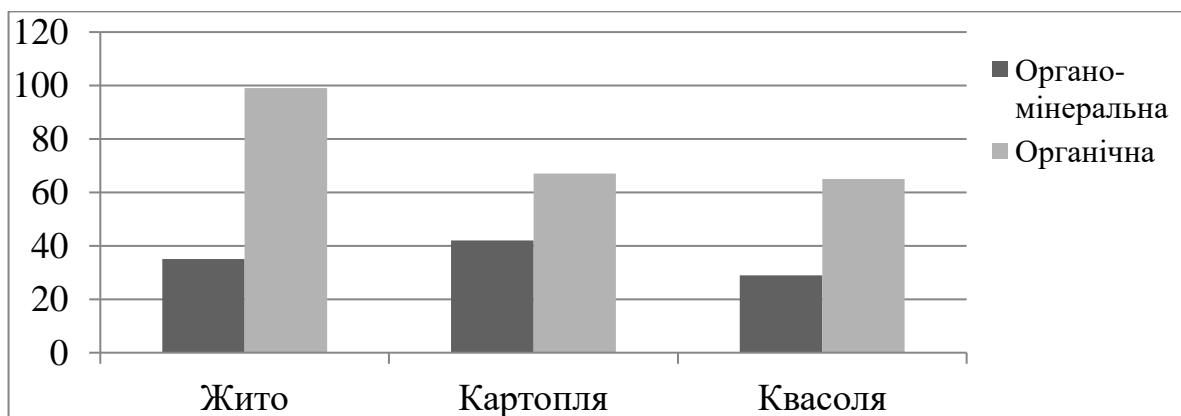


Рисунок 1. Рівень рентабельності вирощування культур

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення рівень рентабельності вирощування жита становив 35 %, картоплі – 42 % і квасолі – 29 %. Без внесення мінеральних добрив, які в структурі затрат займають 12-30 %, рівень рентабельності вирощування жита становив 100 %, картоплі – 68 % і квасолі – 65 %.

та за підвищення реалізаційної ціни на органічну продукцію на 30 %, рівень рентабельності збільшився до 99, 67 і 65 %, відповідно.

Таким чином, вирощування сільськогосподарської продукції за органічного способу є економічно вигідним. За рахунок економії коштів на мінеральних добривах та підвищення реалізаційної ціни на органічну продукцію, рівень рентабельності культур збільшувався на 35-64 %.

1.3.2. Агроекологічна оцінка органічної зернової сівозміни на дерново-підзолистому ґрунті

Науковцями Інституту сільського господарства Полісся була розроблена система землеробства «Древлянська». Вона передбачає впровадження сівозмін з короткими ротаціями (2–4-пільні) та їх насичення (до 50 %) однорічними бобовими культурами, що сприяє біологічному способу відновлення родючості ґрунтів. Такі скорочені біологізовані сівозміни є динамічними, високо екологічними [79]. В якості зернобобових на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся може бути пелюшка, люпин, вика, горох, а на більш родючих ґрунтах – соя, боби, нут тощо. Насичення сівозмін зернобобовими культурами дає можливість постачати азот, як найбільш дефіцитний елемент у дерново-підзолистих ґрунтах, усувати загрозу ґрунтовтоми, підвищити мікробіологічну активність ґрунту.

Упродовж 2021–2023 рр. в Інституті сільського господарства Полісся НААН проводилися дослідження на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті, метою яких було вивчити ефективність біологічних чинників впливу на особливості формування продуктивності зернових і зернобобових культур, економічну доцільність їх вирощування, якість зерна та родючість ґрунту в біологізованій сівозміні.

Ґрунт мав низьку забезпеченість рухомими формами фосфору і калію, кислу реакцію ґрунтового розчину та низький вміст гумусу – 1,03 %. Вивчалася короткоротаційна зернова сівозміна: пелюшка – овес – вика – ячмінь. Пелюшка і вика висівалися в сумішці з підтримуючою культурою (вівсом) у співвідношенні 1:0,2. Схема дослідження включала застосування препаратів та

мінеральних добрив, що дозволені органічним виробництвом: 1. Контроль (солома + сидерат) – фон; 2. Фон + Аватар; 3. Фон + Аватар + P₄₀K₆₀; 4. Фон + Біокомплекс-БТУ; 5. Фон + Біокомплекс-БТУ + P₄₀K₆₀; 6. Фон + Волинські гумати; 7. Фон + Волинські гумати + P₄₀K₆₀. Після збирання кожної культури побічна продукція залишалася на полі з наступним придискуванням та посівом редьки олійної на сидерат. На фоні соломи і сидерату, проводили дворазову позакореневу обробку посівів мікродобривом Аватар, біопрепаратом Біокомплекс-БТУ і рідким біодобривом Волинські гумати, що дозволені для використання в органічному виробництві. Додатково введені варіанти із сумісним застосуванням природних мінеральних добрив (фосфоритного борошна і сульфату калію), які вносилися під осінню оранку.

У середньому за роки досліджень, на контрольному варіанті (солома + сидерат) урожайність зерна культур встановлена на рівні: пелюшко-вівса – 1,70 т/га, вівса – 1,31, вико-вівса – 1,32 і ячменю – 1,21 т/га (табл. 5).

Таблиця 5.

Продуктивність культур (т/га) та сівозміни залежно від системи удобрення

№ вар.	Система удобрення (на 1 га сівозмінної площі)	Культури сівозміни				Збір на 1 га сівозмінної площі зернових одиниць, т
		пелюшка	овес	вика	ячмінь	
1	контроль (солома + сидерат) – фон	1,70	1,31	1,32	1,21	1,72
2	фон + Аватар	1,87	1,48	1,41	1,32	1,88
3	фон + Аватар + P ₄₀ K ₆₀	2,07	1,69	1,51	1,50	2,11
4	фон + Біокомплекс-БТУ	2,04	1,58	1,48	1,38	1,97
5	фон + Біокомплекс-БТУ + P ₄₀ K ₆₀	2,25	1,83	1,60	1,61	2,26
6	фон + Волинські гумати	2,07	1,66	1,53	1,38	2,06
7	фон + Волинські гумати + P ₄₀ K ₆₀	2,22	1,88	1,66	1,58	2,28
<i>НІР₀₅, т/га</i>		<i>0,18</i>	<i>0,14</i>	<i>0,12</i>	<i>0,12</i>	

За позакореневої обробки посівів препаратами вихід зерна збільшився на 12,1–26,7 %. Одночасне застосування фосфорно-калійних добрив з препаратами збільшило врожайність зерна пелюшки – до 2,25, вівса – до 1,88, вики – до 1,66 і ячменю – до 1,61 т/га або на 8,5–16,7 %, порівняно до варіантів, на яких застосовували тільки позакореневе підживлення. На посівах вівса і ячменю

приріст урожайності від фосфорно-калійних добрив становив 14,9–19,1, а на посівах пелюшки і вики – 7,6–11,8 %.

Через низьку родючість дерново-підзолистого ґрунту загальна продуктивність сівозміни була не високою. З одиниці площі вихід зернових одиниць на контролі становив 1,72 т. За обробки посівів препаратами, цей показник збільшився на 9,3–32,5 %. Максимальні показники продуктивності сівозміни відмічені при застосуванні Біокомплексу-БТУ і Волинських гуматів на фоні внесення $P_{40}K_{60}$ – 2,26–2,28 т зернових одиниць.

Важливе значення для товаровиробників сільськогосподарської продукції має її якість, від якої залежить закупівельна ціна, а відповідно і їх прибуток. За нашими спостереженнями, виповненість зерна істотно не залежала від системи удобрення (табл. 6).

Таблиця 6.

Якісні показники зерна культур залежно від системи удобрення

Показник	№ варіанту							НІР ₀₅
	1	2	3	4	5	6	7	
Пелюшка								
Маса 1000 насінин, г	131	132	136	135	140	137	138	11,6
Натура, г/л	808	807	812	804	814	812	810	48,4
Уміст білка, %	18,2	18,6	18,6	18,8	19,0	18,4	19,2	1,22
Овес								
Маса 1000 насінин, г	36	38	39	36	40	38	40	4,1
Натура, г/л	404	408	413	401	408	406	415	22,5
Уміст білка, %	9,1	9,4	9,8	9,4	9,5	9,6	9,7	0,8
Вика								
Маса 1000 насінин, г	60	58	58	61	59	59	62	4,8
Натура, г/л	811	811	809	813	813	817	817	54,6
Уміст білка, %	22,9	23,7	23,5	23,8	23,8	23,4	23,8	1,25
Ячмінь								
Маса 1000 насінин, г	45	45	47	46	47	45	47	3,9
Натура, г/л	621	624	620	626	625	618	624	39,8
Уміст білка, %	10,8	11,0	11,2	11,5	11,5	11,4	11,8	0,92

Маса 1000 насінин становила: у пелюшки – 131–140 г, вівса – 36–41, вики – 58–62 і ячменю – 42–47 г. Натура зерна пелюшки була в межах 804–814 г/л, вівса – 401–415, вики – 809–817 і ячменю – 618–626 г/л. Істотна зміна цих показників від чинників впливу не встановлена.

Уміст білка в зерні вівса становив 9,1–9,8 %, ячменю – 10,8–11,8 %, у насінні пелюшки білковість була на рівні 18,2–19,2 %, вики – 22,9–23,8 %, відмічено тенденцію до підвищення показника на удобрених варіантах порівняно з контролем.

Так як основна функція сівозміни полягає у створенні бездефіцитного балансу гумусу та поживних речовин, одним із завдань наших досліджень було вивчення умов збереження родючості ґрунту при відсутності підстилкового гною і хімічних мінеральних добрив шляхом залучення до кругообігу біологічного азоту зернобобових культур, побічної продукції, сидерату та препаратів і добрив природного походження.

При аналізі балансу гумусу, враховувалося надходження корневих і післяжнивних решток, побічної продукції зернових і зернобобових культур, сидеральної редьки в кожному полі сівозміни з використанням коефіцієнтів гуміфікації. Проведений нами аналіз синтезу органічної речовини показав, що на кожному варіанті системи удобрення присутність соломи та сидерату забезпечили достатнє накопичення органіки для досягнення бездефіцитного балансу гумусу. У перерахунку на 1 га сівозмінної площі, на контролі цей показник становив 175 кг, на варіантах з використанням позакореневого обробітку препаратами – 200–250 кг, тобто досягається бездефіцитний або врівноважений баланс гумусу, який забезпечує просте відтворення родючості ґрунту. За сумісного внесення фосфорно-калійних природних мінералів і біопрепаратів, позитивний баланс гумусу був на рівні 300–350 кг, що забезпечує розширене відтворення і підвищення родючості дерново-підзолистого ґрунту (рис. 2).

Важливим показником, який дає можливість оцінити погіршення, збереження чи поліпшення родючості ґрунту є баланс поживних речовин, який складається з приходної і витратної його частини. Розрахунок балансу елементів живлення необхідний для більш обґрунтованого прогнозування потреби рослин в елементах мінерального живлення та ефективного їх використання. За дефіциту гною, удобрення культур слід здійснювати таким чином, щоб

унеможливити від'ємний баланс елементів живлення, не погіршувати родючість ґрунту і зберігати довкілля. Все це обумовило проблематику наших досліджень.

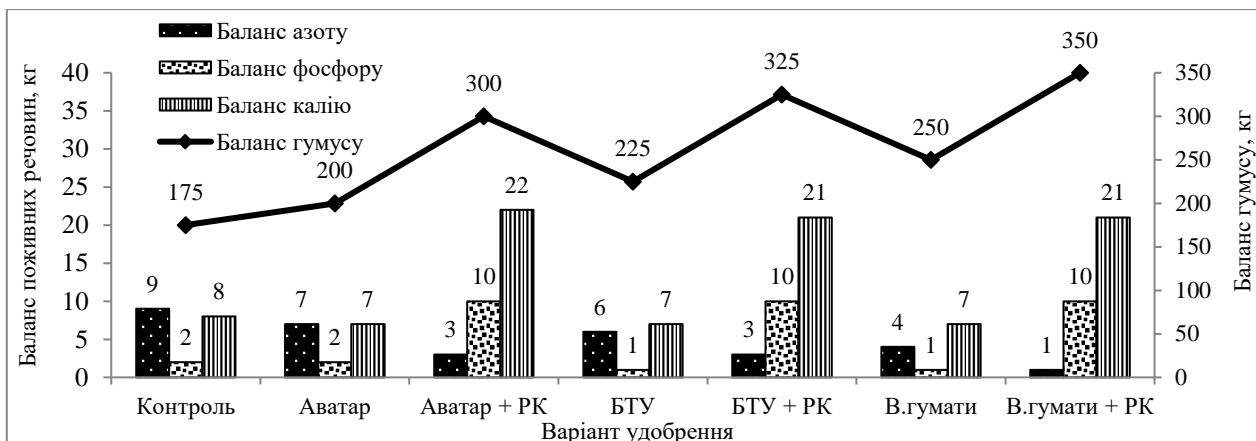


Рисунок 2. Баланс поживних речовин та гумусу в ґрунті, кг/га сівозмінної площі

Винос елементів живлення нами розраховано за результатами хімічного складу основної та побічної продукції. До прибуткової частини зараховували надходження азоту з опадами і насінням, соломою і сидератом та біологічний азот, який фіксується зернобобовими культурами з атмосфери, а надходження фосфору і калію – з мінеральними добривами (фосфоритним борошном і сульфатом калію), соломою і сидеральною редькою.

Встановлено, на всіх варіантах склався бездефіцитний баланс азоту. Щорічний надлишок становить 1–9 кг на 1 га ріллі за інтенсивності балансу 101–120 %, що близько до нормативних показників.

Що стосується фосфору і калію, то їх винос урожаєм повністю покривався надходженням із побічною продукцією і сидератом. За цих умов надлишок фосфору склався на рівні 1–2 кг, а калію – 7–8 кг на 1 га сівозмінної площі, що відповідає бездефіцитному балансу. За використання фосфоритного борошна (Р₄₀), щорічний надлишок фосфору становив 10 кг з інтенсивністю балансу 157–170 %, що близько до встановленого нормативу. А застосування сульфату калію (К₆₀), збільшило балансовий показник до 21–22 кг, з інтенсивністю 163–172 %. Дещо підвищений показник інтенсивності балансу вказує, що в подальших дослідженнях можливо переглянути дозу калію в бік його зниження за умови застосування побічної продукції та сидеральних культур.

Показники економічної ефективності визначалися згідно цін на насіння, паливо, добрива тощо, що склалися на кінець періоду досліджень. Реалізаційна ціна на органічне зерно збільшена на 30 % і встановлена на рівні: вівса – 4550 грн/т, ячменю – 5200 і зернобобових культур після очистки від вівса – 10400 грн/т.

Через диспаритет цін, вирощування зерна ячменю та вівса за всіх чинників впливу було збитковим. За рахунок дворазового підвищення закупівельної ціни на зернобобові пелюшку і вику, рівень рентабельності їх вирощування становив 56,3–64,4 і 19,6–29,5 % відповідно, а обробка їх посівів препаратами, підвищила цей показник на 5,3–15,1 % порівняно до контрольного варіанта.

Виходячи із загальної продуктивності сівозміни, середній рівень рентабельності по культурах на контролі становив 3,4 % (рис. 3). За обробки посівів препаратами біологічного походження, цей показник збільшився до 6,5–14,8 %. Найбільш вигідним з точки зору економічної ефективності, був позакореневий обробіток посівів Волинськими гуматами.

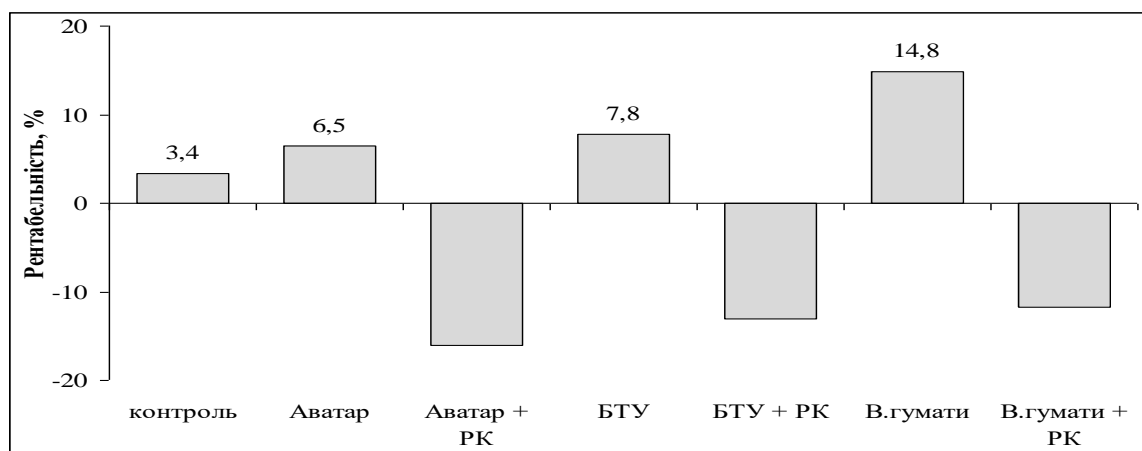


Рисунок 3. Рівень рентабельності сівозміни, %

Затрати, понесені на придбання та застосування мінеральних добрив (фосфоритного борошна та сульфату калію), не окупилися приростом урожайності всіх культур.

Висновки

1. На дерновому глеюватому ґрунті в короткоротаційній сівозміні використання органічної системи удобрення (10 т гною + 2 т побічної продукції

жита й квасолі та сидерату редьки олійної) знизило врожайність культур на 11–35 % та загальну продуктивність сівозміни на 19 %, порівняно з традиційною органо-мінеральною (органічні добрива + $N_{35}P_{40}K_{60}$). Разом з тим, за відсутності мінеральних добрив не погіршувалися якісні показники продукції. При застосуванні засобів біологізації, винос поживних речовин урожаєм повністю компенсувався внесенням гною, побічної продукції й сидерату, тому досягається бездефіцитний баланс елементів живлення та просте відтворення родючості ґрунту. Крім того, за органічного способу вирощування, при умові підвищення реалізаційної ціни на органічну продукцію на 30 %, рівень рентабельності вирощування культур збільшувався на 35–64 %.

2. На дерново-підзолистому ґрунті в органічній короткоротаційній сівозміні з 50 % насиченням зернобобовими культурами (пелюшка і вика), використанням у кожному полі побічної продукції та післяжнивної редьки олійної в якості органічних добрив, досягається бездефіцитний (урівноважений) баланс гумусу та поживних речовин у ґрунті. Позакореневий обробіток посівів препаратами біологічного походження (мікродобриво Аватар, біопрепарати Біокомплекс-БТУ, рідке біодобриво Волинські гумати), збільшують урожайність зерна на 12–26 % та підвищують рівень рентабельності вирощування зернобобових культур на 5,3–15,1 %.

SECTION 2. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.2.1

2.1 Application of vertical ribs in walls for strengthening buildings and structures

Everyone knows the use of vertical, outwardly protruding parts of walls during the construction of buildings or structures, which are called buttresses [80]. Buttresses began to be used by the ancient Romans, but they became widespread in Gothic architecture (Fig. 1). During the Renaissance, buttresses almost completely ceased to be used in architectural and construction practice.

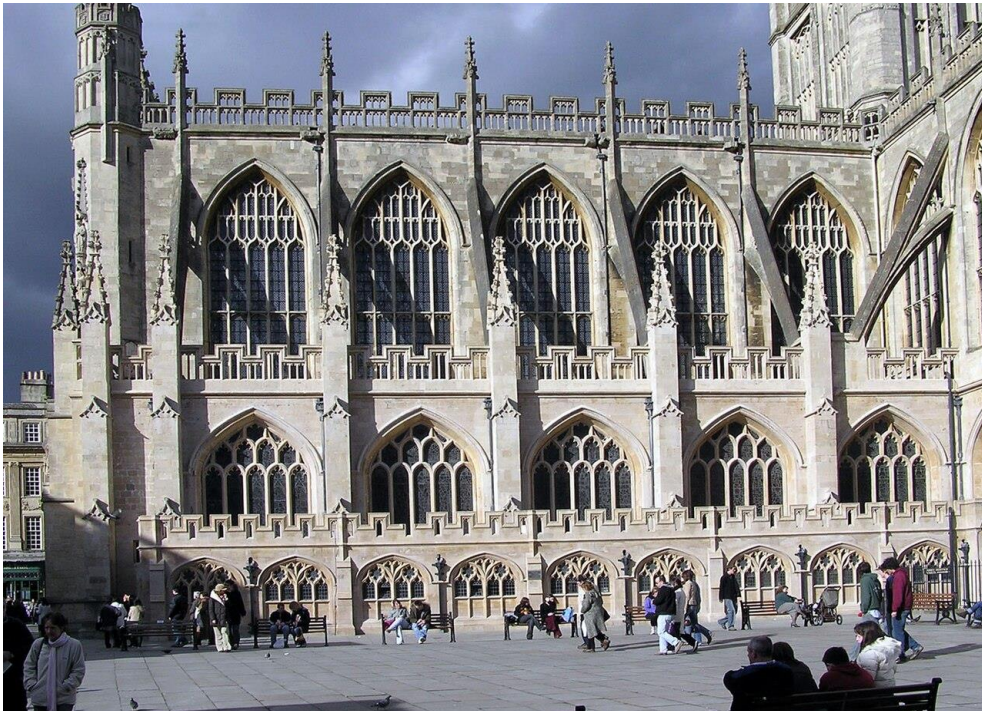


Figure 1. Application of buttresses in the building the Abbey Church of Saint Peter and Saint Paul (16th century)

The main purpose of buttresses is to perceive horizontal forces from the strut (from the French "contre force" - "opposing force"). In some cases, pseudo buttresses were built - vertical elements that did not accept horizontal forces, but served as an architectural decoration of the building.

According to the shape in the plan, these are square, rectangular, semicircular, multifaceted elements, which could be continuous or stepped along their length (thickened downwards).

On the territory of modern Ukraine, it is also possible to note many objects with the use of buttresses. On the example of In Lviv, you can see buildings (Fig. 2) and public buildings (Figs. 3, 4) that contain external protruding vertical ribs. In the era of Soviet architecture of the 70s, during the industrialization of construction, it is possible to single out many typical projects where vertical outwardly protruding elements are located on the facades.



Figure 2. Water towers in Lviv (30s of the 20th century)



Figure 3. The fifth city clinical polyclinic in Lviv (70s of the 20th century)



Figure 4. Center for the provision of administrative services in Lviv (70s of the 20th century)

The authors of this material borrowed the experience of using vertical structural elements - ribs in enclosing structures during reconstruction with reinforcement of

buildings and structures. However, although the proposed ribs look like buttresses, they are intended, in most cases, to absorb vertical forces.

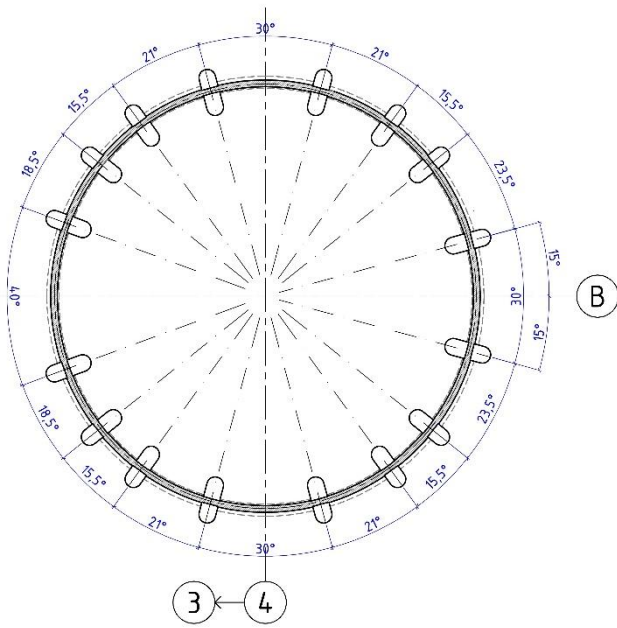
One of these objects was a building - a technological tower for the granulation of ammonium nitrate in the city of Cherkasy (Fig. 5). The tower is made of monolithic reinforced concrete and has a cylindrical outline with an outer diameter of 12,88 m. The reinforced concrete trunk of the tower rests on a reinforced concrete foundation slab with a diameter of 24,0 m and a height of 4,15 m. The barrel of the tower has an internal lining to protect the reinforced concrete from chemical influences. A three-story metal superstructure with a height of 22,8 m is mounted on the upper part of the trunk between the 47,300m and 70,100m marks. In plan, the superstructure is a regular dodecahedron.



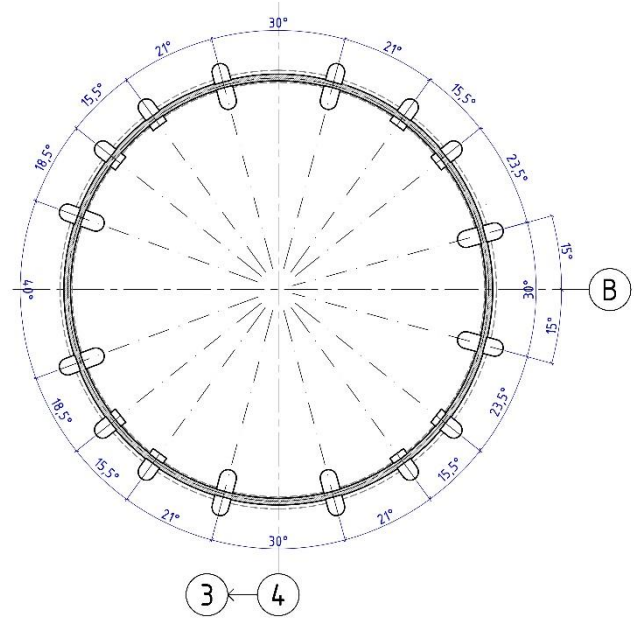
Figure 5. General view of the tower before reinforcement

As a result of the examination of the tower trunk, defects and damage were found that reduce its carrying capacity for design loads [81], and a decision was made to strengthen the trunk. The proposed strengthening option [82, 83] consisted in the introduction of vertical ribs protruding outwards and inwards, located along the perimeter of the tower, into the structure of the trunk. The number and total thickness of the reinforcement ribs varied along the height of the tower trunk (Fig. 6).

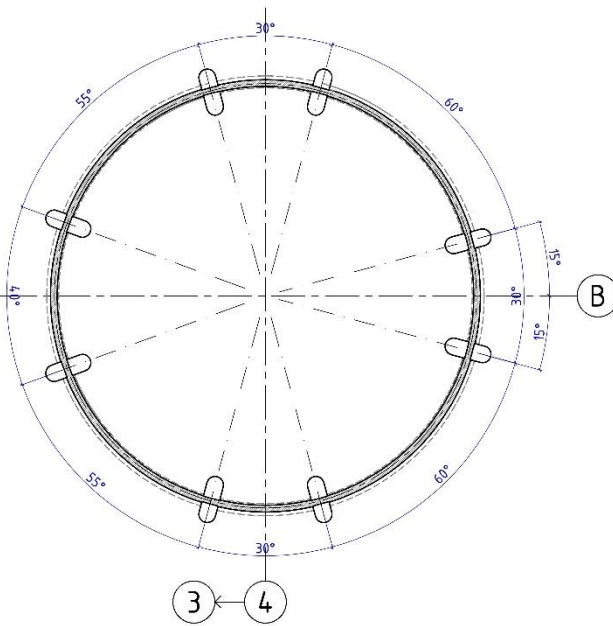
The repair of the ammonium nitrate granulation tower was carried out in 2020 (Fig. 7). In addition to strengthening the tower trunk, chemical protection of structures was carried out.



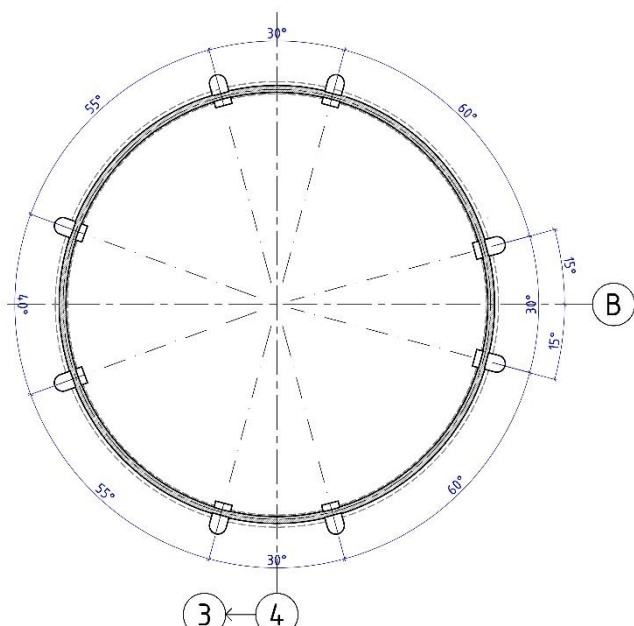
mark: -0,150 – 11,100



mark: 11,100 – 27,700



mark: 27,700 – 37,600



відм. 37,600 – 44,450

Figure 6. Location of reinforcement ribs along the height of the tower trunk

The four-year operation period of the tower after strengthening and repair (Fig. 8) showed the correctness of the decision.



Figure 7. In the process of performing amplification



Figure 8. General appearance of the tower after strengthening and repair

The second object was an industrial building in Lviv (Fig. 9) [84], which provided for the change of functional purpose to a public purpose with the addition of floors.

The existing three-story building is a combined structural system, with brick walls on the outside and reinforced concrete columns on the inside, is an insert building between other industrial and public buildings. The length of the building in axes is 45,415 m, the width is 20,34 m. The height of the 1st floor is 4,7 m, the 2nd – 5,7 m, the 3rd – 6,0 m. Under the part of the building there is a basement with a height of 4,2 m. Flooring – monolithic ribbed reinforced concrete slabs.

As a result of the survey and verification calculations, the insufficient bearing capacity of the brick blocks, on which the reinforced concrete monolithic beams of the

floor rest, was revealed, so a decision was made to strengthen them. The proposed strengthening option consisted in the introduction of outward and inward vertical reinforced concrete hugs-ribs into the structure of the external walls (Fig. 10, 11).



Figure 9. General appearance of the facade of the building during the survey

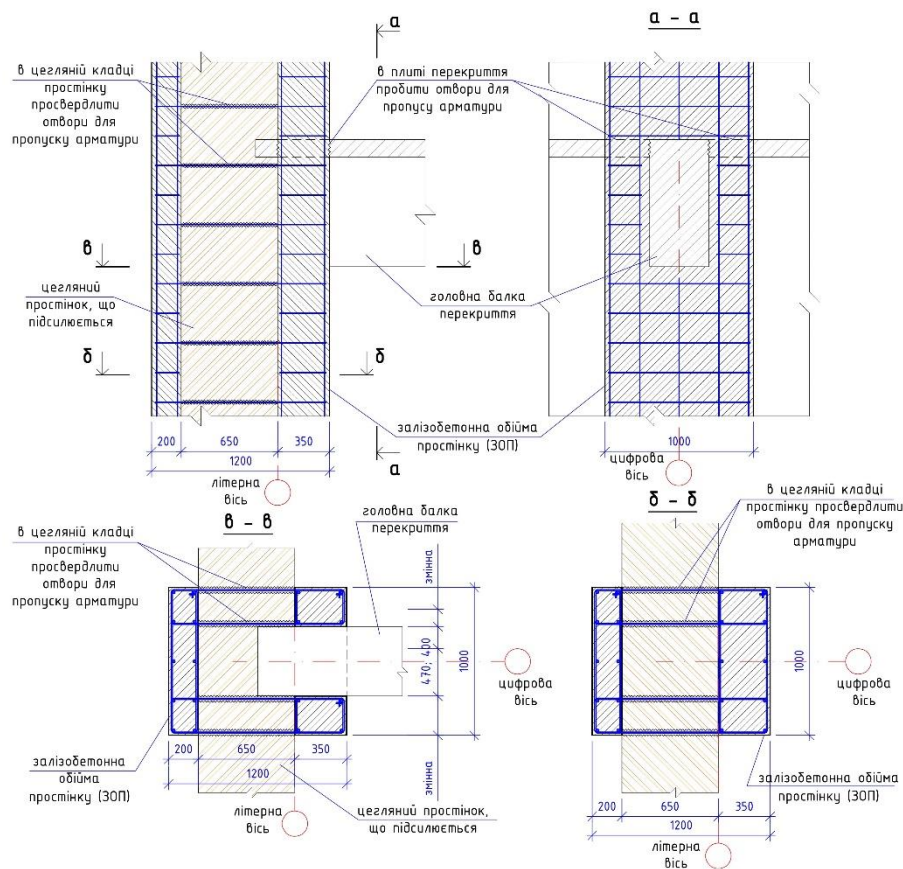


Figure 10. The general principle of strengthening the walls

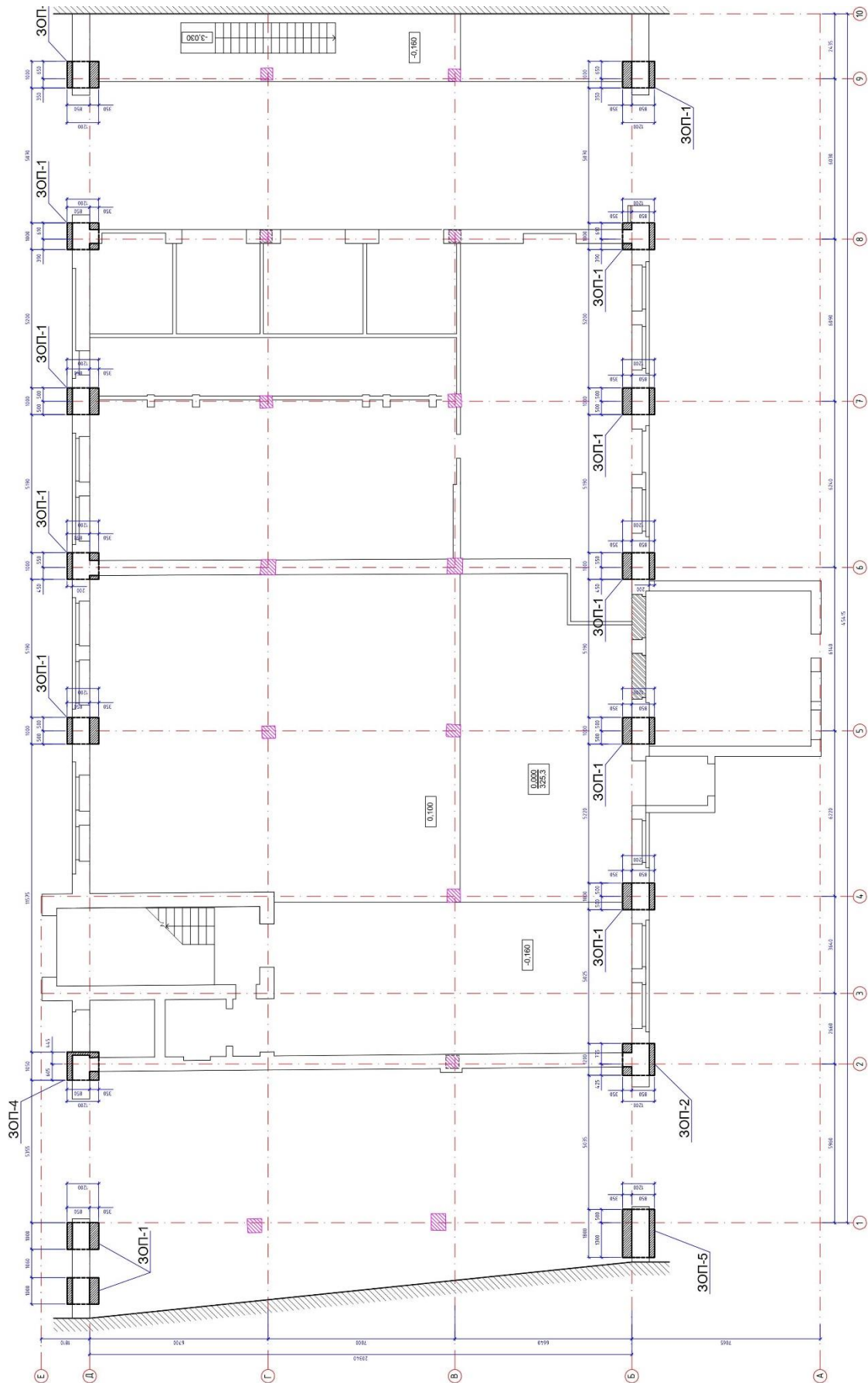


Figure 11. The general principle of strengthening the walls

Reconstruction of the building began in 2021. In addition to the strengthening of the walls, work was carried out to strengthen the foundations [84] and columns. Currently, all works have been completed except for the addition of floors (Fig. 12).

The proposed options for the use of vertical ribs in the wall enclosure for strengthening the objects in question have proven themselves well and can be used in the reconstruction and repair of other buildings and structures.



Figure 12. General appearance of the facade after reinforcement (at the stage without adding floors)

2.2 Вертикальне озеленення як багатофункціональний інструмент: закордонний досвід та перспективи впровадження в українському середовищі

Вертикальне озеленення є однією з інноваційних тенденцій сучасної архітектури та урбаністики, що дозволяє ефективно інтегрувати зелені насадження у міські простори. Цей підхід виконує не лише естетичну, але й низку екологічних та соціальних функцій: поліпшення мікроклімату, підвищення енергоефективності будівель, сприяння біорізноманіттю та створення сприятливого середовища для мешканців. У країнах із розвиненими практиками вертикального озеленення вже існують успішні проекти, які демонструють різноманітні можливості застосування цього підходу. Наприклад, в адміністративних будівлях вертикальні сади сприяють енергозбереженню, у житлових комплексах – формуванню соціальних зв'язків та екологічного садівництва, а у громадських просторах – підвищують естетичну привабливість та комфортність територій.

Водночас в Україні вертикальне озеленення лише починає набувати популярності, і його застосування здебільшого обмежується інтер'єрними рішеннями чи традиційними формами, такими як плющ або виноград на фасадах старих будівель. Щільна забудова міських районів та недостатня кількість зелених зон створюють серйозні виклики для забезпечення екологічного балансу, що робить впровадження сучасних рішень вертикального озеленення вкрай актуальним завданням.

Актуальність теми дослідження полягає у необхідності вивчення різних функцій вертикального озеленення, аналізу успішного закордонного досвіду та пошуку шляхів адаптації цих практик до умов українських міст. Це дозволить вирішувати важливі наукові й практичні завдання, спрямовані на покращення якості міського середовища, створення енергоефективних будівель та підвищення рівня комфорту мешканців.

Проблема вертикального озеленення, як інноваційного підходу до інтеграції природи у міські простори, активно досліджується вітчизняними та зарубіжними науковцями. Значний внесок у розвиток цього напрямку зробили роботи, присвячені вивченню функціональних аспектів вертикального озеленення, зокрема його впливу на енергозбереження, мікроклімат, біорізноманіття та соціальне благополуччя. Попри численні дослідження, залишається ряд невирішених питань. Зокрема, недостатньо вивчені економічні аспекти впровадження вертикального озеленення в Україні, а також відсутній системний підхід до оцінки його ефективності в різних кліматичних зонах. Потребує подальшого дослідження взаємодія архітектурних і екологічних чинників, що визначають оптимальні умови для інтеграції вертикального озеленення у міське середовище.

Отже, актуальність даного дослідження полягає у заповненні цих прогалин та адаптації найкращих світових практик до умов українських міст.

Метою цієї роботи є аналіз функцій та чинників вертикального озеленення в архітектурі, а також дослідження можливостей його впровадження в умовах українського міського середовища. Основна увага зосереджена на виявленні багатofункціональності вертикального озеленення, його впливу на екологічні, естетичні, соціальні та енергоефективні аспекти сучасних будівель.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю ліквідувати ряд «білих плям» у цій галузі. Зокрема:

- недостатнє вивчення можливостей інтеграції світового досвіду в українських містах;
- брак системного підходу до оцінки ефективності вертикального озеленення у місцевих кліматичних і архітектурних умовах;
- потреба у визначенні практичних рекомендацій щодо впровадження вертикального озеленення в житлових і громадських будівлях в Україні.

Результати дослідження можуть слугувати основою для подальшого розвитку архітектурних проєктів, спрямованих на осучаснення міського

простору, покращення екологічної ситуації та створення комфортного середовища для мешканців.

Вертикальне озеленення є сучасним і багатофункціональним рішенням, що має численні переваги, як-от поліпшення мікроклімату, естетичне оздоблення будівель, зниження рівня шуму, очищення повітря та навіть створення можливостей для вирощування рослин у міських умовах. Водночас важливо зазначити, що кожна система вертикального озеленення може виконувати різні функції залежно від цілей її впровадження, особливостей об'єкта та місцевих умов.

Розглянемо деякі приклади для аналізу закордонного досвіду, щоб порівняти функції, які виконує вертикальне озеленення в різних контекстах.

Перший приклад – комплекс One Central Park у Сідней, Австралія (Рис. 1). Ця знакова споруда має вертикальні сади, які займають значну частину фасаду будівлі. Основна функція такого озеленення полягає у зменшенні споживання енергії завдяки природній ізоляції та затіненню. Оскільки фасад будівлі виконаний зі скла, зелені стіни захищають його від перегрівання влітку, що дозволяє знижувати витрати на кондиціонування. Крім того, вертикальні сади сприяють біорізноманіттю, покращують екологічну ситуацію в міському середовищі та створюють вражаючий естетичний ефект, який став візуальною візитівкою комплексу.

Для реалізації проекту використано різні типи озеленення, зокрема живі стіни з геотекстилю, дротяні конструкції з виткими рослинами та озеленення балконів. Останні два варіанти забезпечують мешканцям можливість безпосереднього контакту із зеленню, що позитивно впливає на їхній психологічний комфорт.

Додатково, комплекс має цікаву інтеграцію із сусіднім парком, який, можна сказати, продовжується вертикально на фасадах будівлі. Таке поєднання горизонтального та вертикального озеленення створює єдину зелену екосистему, яка значно покращує якість простору довкола. А розташування неподалік залізниці вказує на ще одну перевагу озеленення – частковий шумозахист.

Зелений фасад також виконує екологічну функцію: рослини виділяють кисень, поглинають вуглекислий газ і створюють затінок, що сприяє зниженню енергоспоживання. Таким чином, One Central Park є унікальним прикладом зеленої архітектури, яка поєднує турботу про довкілля, комфорт мешканців і гармонію з навколишнім середовищем.

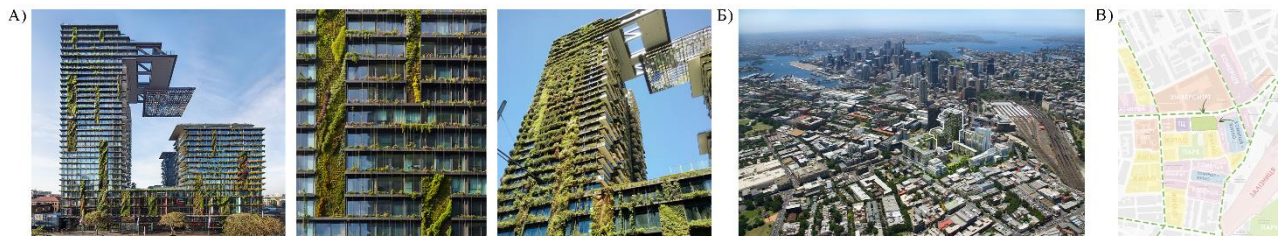


Рисунок 1. Перший приклад використання вертикального озеленення в закордонному досвіді. А) Сідней, Австралія. Житловий комплекс One Central Park; Б) Вигляд будівлі з пташиного лету; В) Містобудівне розташування будівлі

Другий приклад, який заслуговує на особливу увагу, – штаб-квартира Фондації польської науки (Рис. 2). Ця будівля, розташована серед розкиданих житлових вілл, оточених зеленню, має непросту історію. Під час Другої світової війни вона серйозно постраждала від авіабомбардувань. Після війни, через напівзруйнований стан, її планували знести, але згодом було ухвалено рішення про реставрацію.

Однією з ключових особливостей реконструкції стало використання вертикального саду, який охоплює передні та бічні фасади будівлі. Ця зелена стіна слугує інструментом, що дозволяє гармонійно інтегрувати споруду в її природне середовище. Район, у якому розташована будівля, є зоною садибної забудови, з багатим озелененням, тому зелений фасад відіграє важливу роль у створенні цілісного вигляду місцевості. Вертикальний сад буквально стирає межі між архітектурою та природою, додаючи будівлі легкості й природності.

Архітектурна концепція штаб-квартири побудована на зіткненні фактур, де жива зелень доповнює сучасні матеріали фасаду. Вертикальний сад виконує не лише естетичну функцію, але й є ключовою складовою екостратегії будівлі. Він сприяє покращенню енергетичного балансу, забезпечуючи природну ізоляцію, яка допомагає зберігати тепло взимку та прохолоду влітку. Завдяки рослинному

покриву покращується і внутрішній мікроклімат, що підвищує комфорт перебування в будівлі.

Цей проект демонструє, як вдало спроектоване вертикальне озеленення може бути не просто частиною декору, а ефективним засобом екологічної адаптації та інтеграції споруди в її оточення. Штаб-квартира Фундації польської науки є прикладом того, як сучасні архітектурні підходи можуть зберігати історичну спадщину, одночасно просуваючи ідеї сталого розвитку.



Рисунок 2. Другий приклад використання вертикального озеленення в закордонному досвіді. А) Варшава, Польща. Адміністративна будівля _Foundation for Polish Science Headquarters; Б) Вигляд будівлі з пташиного лету; В) Містобудівне розташування будівлі.

Третій приклад, який ілюструє концепцію вертикального озеленення фасадів, – житловий будинок Edison Lite у Парижі (Рис. 3). Цей проект демонструє інший підхід до створення зелених стін. У цьому випадку озеленення не є частиною фасадної конструкції, а формується завдяки рослинам, які вирощуються в горщиках на балконах мешканців будівлі. Незважаючи на те, що зелень не закріплена безпосередньо на фасаді, вона має суттєвий вплив на загальний вигляд споруди.

Особливість цього підходу полягає в тому, що кожен балкон оснащений кашпо або контейнером для рослин, що дозволяє мешканцям самостійно вирощувати декоративну зелень або навіть невеликі саджанці. У результаті рослини, розростаючись, формують цілісну зелену композицію, яка додає будівлі унікального шарму та естетичної привабливості. Завдяки озелененню кожне вікно стає ніби обрамленим живою зеленою рамкою, створюючи враження, що фасад будинку буквально «оживає».

Ця система також має глибокий соціальний і психологічний аспект. Зелений фасад не лише прикрашає споруду, але й дозволяє мешканцям відчутти

себе частиною спільного природного простору. Кожна квартира стає елементом великого ансамблю, де балкони, фасади й навіть дах зливаються в єдину природну композицію. Таке інтегроване озеленення об'єднує мешканців будівлі, пропонуючи їм можливість долучитися до догляду за рослинами та вирощувати власну зелень чи квіти.

Водночас цей тип вертикального озеленення має певні вимоги до участі кожного мешканця. Оскільки рослини потребують регулярного догляду, поливу та обрізки, кожен житель вносить свій внесок у підтримку фасаду. Така колективна відповідальність не лише сприяє створенню гармонійного зовнішнього вигляду будинку, але й підкреслює важливість особистого внеску у спільний простір.

Таким чином, житловий будинок Edison Lite є прикладом того, як вертикальне озеленення може виконувати не лише декоративну функцію, але й створювати можливості для індивідуального садівництва, сприяти формуванню спільноти та впливати на екологічну ситуацію навіть у межах однієї споруди. Розглянуті приклади демонструють широкий спектр можливостей використання вертикального озеленення: від складних інженерних рішень із багатофункціональними фасадами до простих, але ефективних композицій, створених силами самих мешканців.



Рис 3. Третій приклад використання вертикального озеленення в закордонному досвіді. А) Париж, Франція. Житловий комплекс Edison Lite Apartment Building; Б) Вигляд будівлі з пташиного лету; В) Містобудівне розташування будівлі.

Зважаючи на успішні приклади з-за кордону, постає логічне питання: наскільки перспективним є впровадження вертикального озеленення в українських реаліях? Особливо це актуально для щільно забудованих міських районів, де критично бракує зелених зон. Далі розглянемо, як такі рішення

можуть бути адаптовані до місцевих умов, які виклики доведеться подолати та які вигоди можна отримати від інтеграції вертикального озеленення в українське середовище.

Використання зелені на фасадах в Україні має свої традиції, які, втім, лише починають трансформуватися у сучасний напрямок. Найчастіше можна зустріти старі будівлі, фасади яких вкриті плющем або диким виноградом – типовими прикладами традиційного вертикального озеленення. Цей підхід, хоч і надає спорудам певної чарівності, залишається переважно природним, без значної участі архітектурного дизайну чи інноваційних технологій.

Проте останнім часом у нашій країні спостерігається тенденція до поширення сучасного вертикального озеленення. Поки що воно здебільшого впроваджується в інтер'єрах – у вигляді зелених стін або рослинних композицій у приміщеннях. Щодо зовнішнього озеленення, то поки традиційні заплетені диким виноградом стіни житлових і адміністративних будівель залишаються домінантним прикладом. Однак, поступово цей напрямок починає еволюціонувати. Ми спостерігаємо впровадження сучасних підходів до вертикального озеленення, хоча вони й зустрічаються доволі рідко. Зокрема, можна побачити спроби осучаснити простір через озеленення дахів чи фасадів нових житлових і комерційних комплексів.

Якщо порівняти ситуацію в Україні із зарубіжними прикладами, зокрема з країнами Європи, де вертикальне озеленення стало важливим інструментом урбаністики, можна сказати, що в нас цей напрям перебуває на стадії зародження. Хоча прогрес уже помітний, розвиток відбувається повільно. Активного впровадження сучасного вертикального озеленення в Україні варто очікувати не раніше, ніж через десятиліття, оскільки цей процес потребує значних інвестицій, адаптації до місцевих кліматичних і архітектурних умов, а також підвищення рівня обізнаності серед архітекторів і забудовників.

Проте, попри всі виклики, перспективи цього напрямку виглядають багатообіцяльними. Щоб глибше зрозуміти потенціал вертикального озеленення в Україні, розглянемо приклади житлових комплексів, які мають певні

передумови для його використання. Усі наведені об'єкти розташовані в різних районах міста Львова.

Перший приклад (Рис. 4) заснований на результатах натурного обстеження, проведеного автором. Житловий комплекс, розташований у центральній частині Львова, характеризується щільною забудовою, де практично відсутні традиційні зелені зони, такі як парки чи сквери.

Цей житловий будинок розташований у щільно забудованій частині міста, де відсутність внутрішнього простору для озеленення значно впливає на комфорт мешканців. Двір будинку виконує функцію транзитної зони, що залишає мало місця для створення зелених зон. У результаті простір виглядає похмуро, без належної естетичної складової та природного затишку.

Для вирішення цієї проблеми пропонується впровадження вертикального озеленення. Велика кількість пустих стін на фасадах будівлі відкриває можливості для встановлення зелених стін із геотекстильних панелей або конструкцій для витких рослин. Таке рішення не тільки покращить візуальний вигляд території, але й забезпечить додаткові екологічні переваги, зокрема покращення мікроклімату. Рослинність на фасадах зможе зменшити вплив літньої спеки, покращити якість повітря та сприяти формуванню більш привабливого середовища для мешканців і перехожих.



Рисунок 4. Перший приклад натурного обстеження. Львів, Україна. Житловий будинок на вул. Залізнична 7П

Другий приклад: житловий комплекс у Залізничному районі Львова, ЖК "Веселка" (Рис.5). Цей об'єкт розташований неподалік попереднього прикладу та має подібні проблеми в організації простору. У наявному плануванні весь транзит проходить між будівлями, а зелені зони фактично відсутні. Це створює холодну, урбаністично-похмуро атмосферу, яка впливає як на естетику, так і на комфортність перебування.

Для вирішення цієї проблеми пропонується кілька рішень. Використання вертикального озеленення на фасадах будівель. Це може бути впровадження витких рослин, закріплених на спеціальних каркасах, або створення модульних зелених стін, які легко адаптувати під конкретні ділянки фасаду. Озеленення накриттів заїздів до паркінгів. Такий підхід дозволить ввести природні елементи навіть у ті зони, які зазвичай залишаються сірими та непримітними.

Ці рішення допоможуть створити затишніший простір у житловому комплексі, підвищать рівень задоволеності мешканців і дадуть території естетичної привабливості.



Рисунок 5. Другий приклад натурального обстеження. Львів, Україна. Житловий будинок на вул. Залізнична 23, ЖК «Веселка»

Третій приклад: житловий комплекс "Підзамче Брама" у районі Підзамче (Рис.6). Цей об'єкт є перспективним прикладом, оскільки знаходиться на стадії будівництва, що відкриває можливості для інтеграції вертикального озеленення вже на етапі проєктування. ЖК "Підзамче Брама" вирізняється тим, що передбачає достатню кількість зелених зон і навіть впровадження зелених дахів, що позитивно впливатиме на внутрішній мікроклімат комплексу та створюватиме комфортне середовище для мешканців.

Проте зовнішній вигляд будівель, які виходять на дорогу, залишається дещо одноманітним. Це зумовлено відсутністю озеленення на фасадах, особливо на глухих стінах, які домінують у цій частині комплексу. Пропонується додати вертикальну зелень на ці фасади, що не тільки покращить їхній естетичний вигляд, але й виконає важливу функцію звукопоглинання. З урахуванням того, що фасади зі сторони дороги позбавлені балконів, імовірно через шумове навантаження, зелені стіни можуть слугувати бар'єром для зниження рівня шуму, що позитивно вплине на комфорт як мешканців, так і пішоходів, які використовують прилеглі вулиці.



Рисунок 6. Третій приклад натурного обстеження. Львів, Україна. Житловий будинок на вул. Нововознесенська, ЖК «Брама»

Аналіз закордонного досвіду використання вертикального озеленення демонструє його багатofункціональність і значний потенціал для адаптації в умовах урбаністичного середовища. Розглянуті приклади з Австралії, Польщі та Франції підкреслюють, що зелені фасади не лише вирішують естетичні завдання, але й виконують екологічні, енергозберігаючі, соціальні та функціональні ролі.

Функціональна багатогранність. У випадку з One Central Park у Сідней вертикальні сади використовуються для поліпшення мікроклімату та зниження енергоспоживання, а також сприяють біорізноманіттю та створенню унікального архітектурного образу. Штаб-квартира Фондації польської науки демонструє, як вертикальне озеленення допомагає інтегрувати сучасні екостратегії в історичну забудову. Приклад Edison Lite у Парижі показує, як вертикальне озеленення може стати засобом соціальної інтеграції, створюючи простір для особистого садівництва мешканців.

Закордонний досвід також вказує на низку викликів, які можуть виникати під час впровадження вертикального озеленення. Серед них:

- це високі початкові інвестиції на створення та облаштування зелених фасадів;
- необхідність регулярного догляду за рослинами, який потребує залучення кваліфікованих спеціалістів;
- залежність ефективності вертикального озеленення від місцевих кліматичних умов;
- питання адаптації іноземних технологій до специфіки українських міст.

Ці аспекти потребують більш детального аналізу, який стане основою для розробки рекомендацій з впровадження вертикального озеленення в українському середовищі.

В межах даної роботи основна увага була зосереджена на функціях і чинниках використання вертикального озеленення в різних контекстах. Подальшого дослідження потребують такі важливі аспекти як економічна доцільність цього підходу, технічні вимоги до його реалізації, довговічність систем вертикального озеленення в умовах експлуатації, а також роль вертикальних садів у зменшенні екологічного навантаження у густонаселених районах.

Ці питання будуть детально розглянуті у подальших дослідженнях, щоб забезпечити комплексне розуміння впровадження вертикального озеленення у міському середовищі України. Такий підхід дозволить не лише оцінити потенціал цієї технології, але й забезпечити її успішну адаптацію до умов вітчизняної архітектури та урбаністики.

SECTION 3. DEVICES

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.3.1

3.1 Підвищення точності вимірювання мікрометричних приладів у лабораторіях

3.1.1. Вступ

В сучасному світі, де високоточність і надійність мають вирішальне значення для якості продукції та результативності досліджень, метрологія стає невід'ємною складовою кожної лабораторії та виробничого процесу. Забезпечуючи простежуваність, точність і узгодженість вимірювального обладнання на всій планеті, метрологія не лише гарантує вірогідність результатів, але й убезпечує від розбіжностей та непослідовностей у вимірюваннях.

Наука про вимірювання, метрологія, виступає як ключовий фактор у забезпеченні відповідності продукції встановленим стандартам та вимогам. Незалежно від галузі, точні вимірювання є гарантією якості та надійності у виробництві. Серед важливих приладів у цьому контексті особливе місце займають мікрометричні прилади, такі як мікрометри, які забезпечують високоточні вимірювання у різноманітних галузях, від машинобудування до медицини.

Проте, навіть у сучасному технологічному середовищі, точність вимірювань може піддаватися ризикам, таким як знос, технічні несправності та зовнішні впливи. Це вимагає систематичного підходу до підтримки та підвищення точності вимірювань мікрометричних приладів у лабораторіях.

Таким чином, в контексті нашої дослідницької роботи, вивчення методів та стратегій, спрямованих на збільшення точності вимірювань мікрометричних приладів, виявляється актуальним та необхідним завданням. Забезпечення найвищого рівня точності у вимірюваннях є ключовим аспектом нашої наукової діяльності, який має вирішальне значення для досягнення найкращих результатів і впливу на індустріальні та наукові процеси.

3.1.2. Недоліки

Встановлено, що вимірювання в різних лабораторних умовах можуть відрізнятися за своєю природою, тому узагальнення стратегій для підвищення точності може бути складним. Крім того, деякі технічні дефекти мікрометричних приладів скоріше всього будуть поза контролем користувача або оператора, які здатні змінити ефективність заходів щодо підвищення точності. Стрімкий розвиток вимірювальних технологій і методів вимагає постійного оновлення знань і навичок співробітників, що є дорогим за часом і ресурсами.

Незважаючи на ці недоліки, важливо продовжувати дослідження та вдосконалювати методи підвищення точності вимірювань мікрометричних приладів у лабораторіях.

3.1.3. Мета роботи

Метою роботи є отримання практичних рекомендацій, які допоможуть лабораторіям забезпечити високу точність вимірювань мікрометричними приладами.

3.1.4. Визначення мікрометричних приладів

Мікрометричні прилади є широко розповсюдженими універсальними засобами вимірювання і використовуються в умовах різноманітного виробництва. Мікрометричні прилади мають вищу точність, ніж штангенінструменти, і тому використовуються для контролю більш відповідальних деталей машин та механізмів (7 - 8 квалітет). Метод вимірювання мікрометричними приладами – прямий, абсолютний, у деяких - відносний, не прямий [96].

За конструктивним виконанням мікрометри належать до вимірювальних приладів, оскільки вони створюють візуальний сигнал вимірювальної інформації – відлік здійснюють за шкалами або цифровому дисплею.

3.1.5. Вплив калібрування на точність вимірювання

Калібрування засобів вимірювання це найважливіше рішення для забезпечення надійних результатів вимірювань за допомогою засобів вимірювань та обладнання, використовуваних у лабораторії. Процес калібрування полягає в зовнішньому огляді, перевірці працездатності, за необхідності налаштуванні приладу та визначенні його метрологічних характеристик, обчислення невизначеності вимірювання. Регулярне калібрування дозволяє бути впевненим, що вимірювальні прилади та обладнання працюватиме належним чином.

Для того, щоб зменшити ризики, пов'язані з прийняттям рішень, необхідно знизити невизначеність вимірювання до прийняттого рівня, який називається «цільовою невизначеністю». Для того, щоб зменшити невизначеність конкретного вимірювання, необхідно зосередитися на зменшенні невизначеностей, що виникають з відповідних компонентів. Завжди існують різні рішення для зменшення невизначеностей, що виникають у зв'язку з кожним інклюзивним компонентом. Таким чином, серед кількох можливих альтернатив слід вибрати рішення, яке зменшить невизначеності, що виникають з кожного відповідного компонента, і накладе найнижчі витрати на систему вимірювання для «цільової невизначеності». Математична модель, представлена в даній роботі, може бути використана при оптимізації невизначеності вимірювань у багатьох лабораторіях, які вимагають зниження невизначеності та ризиків, пов'язаних з прийняттям рішень на основі результатів вимірювань [88].

Базовий алгоритм оцінювання невизначеності вимірювань мікрометрів

Схема калібрування мікрометричних приладів наведена на рис. 1 [99].

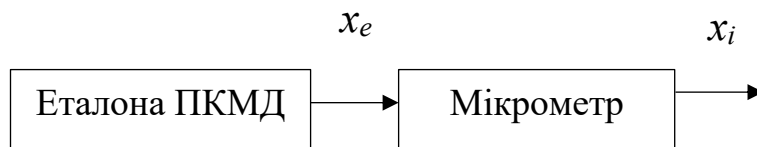


Рис. 1. Схема прямого вимірювання мікрометра, що калібрується, величини, що відтворюється еталонною мірою

1 Складання рівняння вимірювань

До вхідних величин відноситься безпосередньо величина, яка вимірюється за допомогою еталонного ЗВТ. При цьому оцінюється різниця між значенням

вимірюваної величини та значенням еталонного ЗВТ. Також в рівняння вимірювань входять величини, що впливають, значення яких та їх невизначеності відомі з зовнішніх джерел.

Рівняння вимірювань виражає залежність між вихідною Y та вхідними X_1, \dots, X_n величинами.	$Y = f(X_1, \dots, X_n)$
---	--------------------------

2 Оцінка стандартної невизначеності типу А

Невизначеність типу А обчислюють як стандартну невизначеність u_A , яка обумовлена джерелами невизначеності, що мають випадковий характер при виконанні вимірювань.

Обчислення середнє арифметичне результатів вимірювань i -й вхідний величини	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$ <p>де x_i – значення i-й вхідний величини; n – кількість вимірювань</p>
---	---

Обчислення стандартної невизначеності u_A типу А як середнє відхилення результату вимірювання вхідної величини за формулою	$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
--	--

3 Оцінка стандартної невизначеності типу В

Невизначеність за типом В обчислюють як стандартну невизначеність величини, що впливають, яка обумовлена джерелами, що мають систематичний характер.

Величини, що впливають:

- Δ_s – поправка, що враховує невизначеність вимірювання еталонної міри при калібруванні;
- Δ_n – поправка, що враховує невизначеність відхилення еталонної міри від номінального значення;

- Δt – неточність вимірювання, яка обумовлена різницею температур мікрометра, що калібрується та кінцевої міри довжини, що використовуються при калібруванні;
- Δm - вплив механічних ефектів;
- Δ^* – неточність зняття відліку оператором (для мікрометрів з відліком за шкалами стебла і барабана) або дискретністю відліку мікрометрів з цифровим відліковим пристроєм.

4 Визначення коефіцієнта чутливості

Коефіцієнти чутливості c_i показує як оцінка вихідної величини y змінюється зі зміною оцінок вхідних величин x_i .

<p>Коефіцієнт чутливості визначається як похідна вихідної величини до кожної з вхідних величин</p>	<p style="text-align: center;">$(c_i = \partial y_i / \partial x_i)$</p> <p>При прямих вимірюваннях коефіцієнти чутливості є рівними 1.</p>
<p><i>5 Сумарна стандартна невизначеність за типом В складає</i></p>	<p style="text-align: center;">$u_B = \sqrt{\sum [c_i (u^2(x_i))]}$</p> <p>де $u(x_i)$ – стандартна невизначеність за типом В i-тої величини, що впливає; c_i – коефіцієнт чутливості.</p>
<p><i>6 Сумарна стандартна невизначеність u_C</i></p>	<p style="text-align: center;">$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$</p>
<p><i>7 Визначення коефіцієнта охоплення</i></p> <p>Коефіцієнт охоплення представляє собою множник, на який множать стандартну сумарну оцінку невизначеності для отримання стандартної невизначеності.</p>	<p>У разі нормального закону розподілу ймовірностей коефіцієнт охоплення приймається рівним 2 для рівня довіри 0,95.</p>
<p><i>8 Оцінка розширеної невизначеності</i></p>	<p style="text-align: center;">$U = k \cdot u_C$</p> <p>де k – коефіцієнт охоплення.</p>

9 Представлення невизначеності вимірювань в сертифікатах калібрування

Представлення невизначеності вимірювань в сертифікатах калібрування проводиться відповідно до ІЛАС-Р14:01/2013 [89]	$(\bar{x}_i \pm U),$ де \bar{x}_i – середнє значення показів мікрометра, мм.
---	--

10 Порядок складання бюджету невизначеності вимірювань

Аналіз невизначеності вимірювання (бюджет невизначеності) містить список вхідних величин, їх оцінок зі стандартними невизначеностями вимірювання, законами їх розподілу та числом ступенів свободи:

- для невизначеності типу А, отриманої з багатократних повторних спостережень, число ступенів свободи V_i на одиницю менше числа проведених спостережень $V_i = n_i - 1$.
- для невизначеності типу В число ступенів свободи дорівнює безкінечності (∞).

Таблиця 1 - Бюджет невизначеності

Вхідна величина, X_i	Оцінка вхідної величини x_i	Тип невизначеності	Число ступенів свободи	Коэф. чутл. $c_i = dy/dx_i$	Розподілення ймовірностей	Вклад в сумарну невизначеність, $u_i(y)$
Випадкова складова	\bar{x}	А	n-1	1	Нормальний закон	u_A
Невизначеність вимірювання еталонних мір довжини при калібруванні	Δ_s	В	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta_s)$
Відхилення еталонної міри від номінального значення	Δ_n	В	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta_n)$
Різниця температура-тури еталонних мір довжини та мікрометра	Δ_t	В	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta_t)$
Сумарні механічні ефекти	Δ_m	В	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta_m)$

Продовження таблиці 1

Ціна поділки або дискретність відліку мікрометра	Δ^*	B	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta^*)$
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Сумарна стандартна невизначеність	-	Коефіцієнт охоплення	Рівень довіри	Розширена невизначеність
Y	\bar{x}	u_c	-	2	$p=0,95$	U

3.1.6. Умови вимірювання при калібруванні

Правильно підготовлені та контрольовані умови вимірювання є ключовими для успішного та надійного калібрування мікрометричних приладів. Їх відповідне дотримання допомагає забезпечити точність, вірогідність та повну відстежуваність кожного калібрування.

Умови експлуатації мікрометричних приладів:

- Температура робочого простору в процесі вимірювання: $(20 \pm 5)^0$ С.
- Відносна вологість повітря: 80% .
- Вміст у навколишньому середовищі агресивних газів і парів не допускається.

Таблиця 2 – Умови вимірювання при калібруванні мікрометрів

Показник	Умова	Вимоги
Стабільність температури	Температура має значний вплив на розширення та зміну розмірів деталей мікрометрів.	Необхідно забезпечити стабільні умови температури під час калібрування, наприклад, за допомогою кліматичних камер або регульованих умов середовища.
Вологість	Підвищена вологість може призвести до корозії деталей мікрометрів, що може впливати на їхню точність.	Необхідно контролювати рівень вологості у приміщенні під час калібрування.
Чистота	Бруд або забруднення на деталях мікрометрів може призвести до неточних результатів вимірювань.	Необхідно, щоб деталі були чистими перед кожним калібруванням.
Освітлення	Для точних вимірювань важливо мати достатнє освітлення, щоб оператор міг чітко бачити шкалу	Освітлення повинно бути рівномірним по всій робочій області. Розташоване таким чином, щоб уникнути утворення тіней на деталях під час вимірювань.

	мікрометра та деталі, які вимірюються.	
Стійкість умов	Умови вимірювання повинні бути стабільними протягом усього процесу калібрування, щоб уникнути будь-яких змін, які можуть вплинути на результати.	Контролювати температуру, рівень вологості, джерела електромагнітних перешкод та мати стабільне електропостачання у приміщенні протягом всього процесу вимірювання. Розміщувати лабораторні пристрої у зоні, де вплив вібрацій і шуму буде мінімальним.
Вимоги до допоміжного обладнання	Важливо мати належне допоміжне обладнання, таке як калібри або мікрометричні ділянки, які використовуються для перевірки точності мікрометрів.	Допоміжне обладнання повинно бути високої точності та довговічності, щоб забезпечити правильність та стабільність результатів. Використовувати комп'ютерні програми для обробки даних та збереження результатів вимірювань.
Вимоги до персоналу	Лабораторний персонал повинен мати відповідну кваліфікацію та сертифікацію для виконання своїх обов'язків	Персонал повинен отримувати систематичне навчання та тренінг зі використання вимірювального обладнання, методів вимірювань та обробки даних для забезпечення точних та надійних результатів.

Загалом, створення стабільних та контрольованих умов вимірювання є важливим для забезпечення точності процесу калібрування мікрометрів і отримання достовірних результатів.

3.1.7. Точності вимірювань у лабораторіях

Точність вимірювань у лабораторіях залежить від різних чинників, таких як технічні характеристики приладів, умови вимірювання, якість зразків та кваліфікація операторів. Лабораторія має забезпечувати міцну основу для надійних вимірювань, що ґрунтуються на визнаних стандартах. Це забезпечує впевненість у точності та надійності результатів, які використовуються у різних галузях (рис. 2).

Отримання точних результатів вимірювань, проведених у лабораторії, є вкрай важливим. Розглянемо кроки, які допоможуть забезпечити точність результатів вимірювання у лабораторії:

1. Лабораторне вимірювальне обладнання повинно бути відкаліброване.

Калібрування забезпечує точні показання приладів і допомагає усунути систематичні помилки, а також дозволяє відстежувати вимірювання.

2. Необхідно проводити планове технічне обслуговування та очищення лабораторного обладнання. Регулярне технічне обслуговування та очищення допомагають зменшити ймовірність бруду, пилу чи інших забруднень, що заважають вимірюванням.

3. Подвійна перевірка вимірювань. Подвійна перевірка вимірювань виявляє недоліки або невідповідності в обладнанні, що використовується, наприклад неправильне калібрування або несправні деталі, які впливають на точність результатів. Допомагає виявити людські помилки, які можуть виникнути під час вимірювання, наприклад, неправильний запис значень або неправильне тлумачення показань приладу.

4. Необхідно документувати всі етапи експерименту. Письмова документація дозволяє переглядати результати в майбутньому. Документація дає дослідникам більше впевненості у результатах, оскільки є докази того, що всі кроки були виконані належним чином і точно.

5. Необхідно забезпечити належне навчання. Персонал лабораторії має бути навчений тому, як правильно використовувати обладнання, розуміти протоколи безпеки та належним чином записувати результати. Професіоналізм допомагає зменшити ймовірність людських помилок під час проведення вимірювань та забезпечити узгодженість збору даних, полегшуючи дослідникам порівняння різних наборів результатів окремих експериментів протягом певного часу.

6. Необхідно періодично переглядати процеси. Дослідники повинні визначати області, які потребують коригування або вдосконалення, регулярно переглядаючи процеси та процедури для забезпечення точності результатів вимірювань в лабораторії, що допоможе усунути систематичні помилки, які можуть виникнути через вади конструкції обладнання або людську помилку.

<i>ПРОСТЕЖУВАНІСТЬ</i>	<i>ТОЧНІСТЬ</i>	<i>ВІДТВОРЮВАНІСТЬ</i>
<ul style="list-style-type: none">Є ключем до забезпечення вірогідності вимірювань. Вона передбачає встановлення задокументованого безперервного ланцюга калібрування, який пов'язує точність вимірювального приладу з одиницями СІ через Національний метрологічний інститут. Роблячи це, можна з упевненістю покладатися на покази вимірювань, отримані приладом.	<ul style="list-style-type: none">Означає ступінь відповідності між вимірним значенням і фактичним значенням вимірюваної величини. Використання єдності вимірювання мінімізує помилки та відхилення завдяки використанню відстежуваних точних еталонних стандартів, з якими техніки з калібрування можуть порівнювати вимірювальні прилади, таким чином підвищуючи точність показань, які видають прилади.	<ul style="list-style-type: none">Означає принцип, що якщо точна процедура вимірювання відтворюється за тих самих умов, вона дасть повторювані результати. Відтворюваність досягається за допомогою стандартизованих процедур, надійних вимірювальних інструментів і дотримання встановленої практики.

Рис. 2. Надійна основа лабораторних вимірювань

Ця основа підвищує надійність наукових досліджень, виробничих процесів та різноманітних інших застосувань мікрометричних приладів.

3.1.8. Висновки

1. Підвищення точності вимірювань мікрометричних приладів у лабораторіях потребує комплексного підходу та системних заходів для досягнення найкращих результатів.

2. Правильне калібрування мікрометрів дозволяє гарантувати їх точність і надійність в процесі експлуатації. Оскільки мікрометричні прилади часто використовуються у виробництві, дослідженнях та інженерії для вимірювання розмірів деталей, важливо, щоб вони були відкалібровані. Регулярне калібрування, а також стабілізація умов середовища під час вимірювань мікрометрами є важливою практикою для підтримки їх точності з часом.

3. Періодичність калібрування повинна відповідати вимогам стандартів і виробничих процесів. Усі процедури калібрування повинні супроводжуватися відповідною документацією, яка зберігається та використовується для відстеження історії калібрування та визначення необхідності моніторингу.

SECTION 4. ELECTRICAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.4.1

4.1 The heat processes in a powerful turbogenerator

Today, numerical methods are increasingly used for the solution of scientific and engineering problems. There is a variety of commercial computer programs based on the finite element method (FEM) used for this purpose. The FEM is a numerical approach, by which the general differential equations describing a certain physical phenomena in a structure can be solved in an approximate manner. These equations are assumed to hold over a certain region of the structure, which can be one-, two- or three-dimensional. In fact, the region is divided into smaller parts, so-called finite elements, and the approximation is then carried out over each element. This approximation, usually a polynomial, is actually some kind of interpolation over the element, and it is assumed that the variable is known at certain points within the element, called nodal points. The precise manner, in which the variable changes between its values at the nodal points, is expressed by the specific approximation that may be linear, quadratic, cubic, etc. The coefficients of the polynomials are chosen in such a way that a variational principle is approximately satisfied. Having determined the behaviour of all elements, they are then patched together, using some specific rules, to form the entire region. The collection of all elements is called a finite element mesh.

The emergence of FEM took place in the early 1960's and since then its use has spread to virtually all fields of engineering. The first applications on electrical machine problems were presented in the early 1970's. In the 1980's the research on numerical field computation methods expanded rapidly, and there are nowadays a variety of convenient simulation software for computer calculations and design of electromechanical energy converters, in particular powerful turbogenerators. The most well-known complexes are FEMLAB, ANSYS, MAXWEL and COMSOL Multiphysics. The COMSOL Multiphysics software [100] deserves special attention,

because used today in many universities of the world, as well as professional researchers of various fields.

1. The most significant highlights of COMSOL Multiphysics are

- predefined physics and user-defined equations;
- high-performance numerical algorithms and postprocessing capabilities;
- application specific add-on products for chemical engineering, heat transfer, structural mechanics, electromagnetics and fluid flow;
- bidirectional interface with MATLAB;
- bidirectional interface with Simulink;
- ability to enrich models with custom user interfaces and compile them into stand-alone applications;
- ability to solve multiphysical problems and the complex (interrelated) mathematical models.

Also an important advantage of COMSOL Multiphysics is the simplicity of interface in a coefficient form enables simulation of physical processes without focusing directly on the differential equations solution and finding time for variation calculations (experiments).

Researchers use the COMSOL Multiphysics software to simulate designs, devices and processes in all fields of engineering, manufacturing and scientific work. The simulation platform brings fully coupled multiphysics and single-physics modeling capabilities, model management, as well user-friendly tools for building simulation applications.

Researcher can add any combination of add-on products from the COMSOL product suite to the COMSOL Multiphysics software platform. Doing so gives researcher access to specialized features to suit his particular modeling needs in a user interface that always looks the same, regardless of engineering field or physics phenomena. Add-on modules provide specialized functionality for electromagnetics, structural mechanics, acoustics, fluid flow, heat transfer and chemical engineering. Interfacing products are available for computer-aided design (CAD) and other third-party software. COMSOL Multiphysics is integrated with MATLAB and lets researcher

generate a MATLAB file version of a simulation built with COMSOL Multiphysics. Researcher can modify the model MATLAB file, extend it with MATLAB code and run it from MATLAB. COMSOL Multiphysics is integrated with Simulink and lets researcher cosimulate using functional mock-up unit files for use in a Simulink diagram, export state-space models from COMSOL to Simulink or pass sweep and curve data for use by interpolation tables in Simulink. Researcher can also synchronize Microsoft Excel spreadsheet data with the parameters define in the COMSOL Multiphysics environment. All third-party software are: MATLAB, Simulink, Excel, CAD Import Module, Design Module, Electronic CAD (ECAD) Import Module, SOLIDWORKS Inventor, AutoCAD, Revit, Parametric Technology Corporation PTC Creo Parametric, Solid Edge, File Import for CATIA V5. All add-on products from the product suite connect seamlessly with COMSOL Multiphysics for a modeling workflow that remains the same regardless of what researchers are modeling.

The COMSOL Multiphysics simulation environment facilitates all steps in the modeling process – defining geometry, specifying physics, meshing, solving and then postprocessing the results. Optionally, by adding a tailored graphical user interface to a model, researcher can turn it into an application that is usable by anyone, regardless of modeling experience. Those applications can be deployed over the web using COMSOL Server, or compiled with COMSOL Compiler to run stand-alone. Model setup is quick, thanks to a number of predefined modeling interfaces for applications ranging from fluid flow and heat transfer to structural mechanics and electromagnetic analyses. Material properties, source terms and boundary conditions can all be arbitrary functions of the dependent variables.

Predefined multiphysics-application templates solve many common problem types. Researcher has the option of choosing different physics from the Multiphysics Menu and defining the interdependencies himself. Or researcher can specify his own partial differential equations and couple them with other equations and physics.

Modeling is useful together with experiments for optimizing processes and devices quicker, also often more efficiently and accurately than running experimental methods or testing prototypes alone. By developing experimentally validated models

for analyses, researcher can gain a deeper understanding of the design or process because researcher can study it in a more convenient manner than in the laboratory.

Multiphysics is often a necessity for accurately modeling the design or process. As a user of COMSOL Multiphysics, researcher is free from the restrictive nature generally associated with simulation software and has complete control over all aspects of his model. Researcher can be creative in a way that is impossible, or a lot harder, with traditional approaches, thanks to the ability to couple any number of physics phenomena together. For even further customization, input user-defined physics descriptions, with associated equations and expressions, directly in the user interface.

Modeling with COMSOL Multiphysics provides accurate results. Accurate multiphysics models consider a wide range of possible operating conditions and physical effects. This makes it possible to use models for understanding, designing, optimizing processes and devices for realistic operating conditions.

COMSOL Multiphysics includes the Model Builder, Application Builder and Model Manager.

Modeling with COMSOL Multiphysics means being able to move between simulating electromagnetics, structural mechanics, acoustics, fluid flow, heat transfer and chemical reaction phenomena in one software environment. Researcher can also combine physics phenomena from these areas in a single model. The Model Builder in COMSOL Multiphysics provides researcher with a complete simulation environment and a consistent modeling workflow from start to finish, regardless of the type of design or process researcher wish to analyze and develop. The Model Builder contains all the functionality and operations for building, solving, visualizing and evaluating models. The Model Builder includes all of the steps in the modeling workflow – from defining geometries, material properties and the physics that describe specific phenomena to performing computations and evaluating the results.

The Application Builder gives researcher the tools to build his own simulation apps. When a model is developed, can be used the Application Builder to turn it into a simulation application with a dedicated user interface that can be used by engineers

and scientists who are not experts in simulation software. In many organizations, a small group of numerical simulation experts services a much larger group of people working in product development, manufacturing, or as researchers studying physics phenomena and processes. To make it possible for this small group to service the much larger group, the COMSOL Multiphysics software contains functionality for building simulation applications. The Application Builder is included in COMSOL Multiphysics and allows simulation experts to create intuitive and very specific user interfaces for their otherwise general computational models – ready-to-use custom apps. Applications can be tested and run through COMSOL Multiphysics, also deployed with the addition of the COMSOL Server or COMSOL Compiler products. Both products allow researcher to share finished applications with his design teams, manufacturing departments, process operators, test laboratories, customers and clients worldwide.

To help keep models and applications organized, the COMSOL Multiphysics platform also includes the Model Manager, which is a tool for simulation management that provides version control and efficient storage. The Model Manager streamlines modeling and simulation work. This includes ways to collaborate and centrally organize models with version control that systematically tracks changes and updates to models. The Model Manager is accessible directly from the COMSOL Multiphysics user interface and allows researcher to use a local database or connect to a remote server database. There are options for efficiently storing models with only relevant data of drafts and revisions, as well as auxiliary data such as CAD, mesh and experimental data. Finding models and apps in the Model Manager is aided by user-defined tags for organizing the files and the ability to search for certain features or parameters. Researcher can control access to models with user groups and permissions.

There are different modules in COMSOL Multiphysics that solves certain sets of differential equations.

Analyzing electromagnetic systems and processes that encompass the static and low-frequency ranges requires a powerful simulation tool. With the AC/DC (alternating current / direct current) Module, researcher can run stationary, frequency-

domain and time-domain analyses, as well as small-signal analysis. In the time and frequency domains, researcher can also account for capacitive effects.

Under static and low-frequency conditions, also when magnetic fields are negligible, modeling electric currents is sufficient for accurate results. The computations, based on Ohm's law, are made very efficient by solving for the electric potential. Based on the resulting potential field, a number of quantities can be calculated: resistance, conductance, electric field, current density and power dissipation.

The AC/DC Module add-on to the COMSOL Multiphysics platform provides researcher with a wide range of modeling features and numerical methods for investigating electromagnetic fields and electromagnetic interference (EMI) / electromagnetic compatibility (EMC) by solving Maxwell's equations. In general, the electromagnetic field is defined by Maxwell's equations, which are a rather simple formulation of the field problem, but they are difficult to solve, especially in electrical machines. This is due to the complicated geometry, the time-dependency of the magnetic field and the non-linearities because of the iron magnetic saturation. Furthermore, the equations of the magnetic field are coupled with the windings electric circuit equations and the rotor motion.

Researcher can compute magnetostatic fields, parasitic inductances, also forces on coils, conductors and magnets. A variety of formulations are available depending on if currents, magnetic materials or both are present.

For the most general case, where there is both current flow and magnetic materials present, a vector-field formulation allows for electric potential and input currents to be defined, also computes current density distribution, magnetic fields, magnetic forces, power dissipation and mutual inductances.

Coils can be modeled either explicitly, computing the exact current distribution within each wire, or in a homogenized sense, which is very efficient for coils with many turns. Complex coil shapes are automatically handled by computing the coil current distributions.

When modeling cables, wires, coils, solenoids and other inductive devices, the magnetic field is generated by electric currents flowing in conductive materials. Generally speaking, for time-varying fields with significant induction effects, there is a bidirectional coupling between electric and magnetic fields. In these cases, a vector-field formulation is needed, typically when the skin depth is of the order of the device size, but the wavelength is much larger.

Frequency-domain, small-signal analysis, time-domain modeling are supported in two- and three-dimensional. A specialized formulation is available that is particularly suitable for time-domain magnetic modeling of materials with a strongly nonlinear E-J (electric field intensity – current density) characteristic, such as superconductors.

Built-in functionality for rotating machinery makes it easy to model motors and generators. In any model that is used for simulating electromagnetic motion, researcher can examine the rigid or flexible body dynamics under the influence of magnetic forces, torques, induced currents, mechanical load and spring configurations.

The AC/DC Module provides built-in user interfaces for each of the electromagnetics areas listed above, as well as variations for specific modeling purposes. These interfaces each define sets of domain equations, boundary conditions, initial conditions, predefined meshes, predefined studies with solver settings for steady and transient analyses, as well as predefined plots and derived values. There are also features that connect the different interfaces, to easily model them together, which can be convenient for inductors, coils and motors.

Researcher can choose from a large material database that includes ferromagnetic materials, ferrimagnetic materials, B-H (magnetic flux density – magnetic field intensity) curves and H-B curves. Materials can be spatially varying, anisotropic, time-varying, lossy, complex-valued and discontinuous. It is easy to expand the scope of a simulation with little additional work. Researcher can define his own materials using mathematical expressions, lookup tables or combinations of both. Full anisotropic hysteresis is supported by means of the Jiles–Atherton material model for quasistatic parametric modeling and full transient analysis. Researcher can even compile his own material model in C-code and link to it as an external material.

2. Modeling losses in the laminated iron cores and yokes of motors and transformers is important for predicting their efficiency. In particular, for laminated iron (electrical steel), empirical electromagnetic loss models are important since macroscale Joule heating or induction heating is not able to fully describe the effect causing the losses. At the same time, modeling the laminates individually is often impractical. The AC/DC Module includes several well-known empirical loss calculation models, which give very good loss estimates for only a fraction of the computational effort that a high-fidelity model would take. This includes the effects of magnetic hysteresis and eddy currents, as well as other phenomena that contribute to the losses.

For accurate modeling of unbounded or large domains, infinite elements are available for both electric and magnetic fields. For electrostatics and magnetostatics simulation, boundary element method (BEM) is available as an alternative method for modeling large or infinite regions. Additionally, researcher can combine BEM with the FEM-based physics interfaces to perform hybrid FEM–BEM simulations.

For modeling very thin structures, researcher can use shell formulations that are available for DC, electrostatics, magnetostatics and induction simulations. Additionally, there is specialized functionality for modeling DC in shells with multiple layers. Electromagnetic shell modeling makes it possible to replace the thickness of a thin solid in a CAD model with physical property of a surface resulting in the much more efficient representation.

The multiphysics capabilities of the COMSOL Multiphysics software make it possible to investigate the impact of other physical effects – such as heat transfer, structural mechanics and acoustics – on an electromagnetics model. It is also possible to combine modules with each other whenever certain type of physics is required. To examine the real-world behaviour of a system or design virtually, easily couple multiple physical effects in one simulation with the multiphysics modeling capabilities included in the software.

The Heat Transfer Module includes a comprehensive set of features for investigating thermal designs and effects of heat loads. Researcher can model the

temperature fields and heat fluxes throughout components, enclosures and buildings. All of the capabilities in the Heat Transfer Module are based on the three modes of heat transfer: conduction, convection and radiation. Conduction in any material can have an isotropic or anisotropic thermal conductivity, and it may be constant or a function of temperature. Convection, the motion of fluids in heat transfer simulations, can be forced or free (natural) convection. Thermal radiation can be accounted for using surface-to-surface radiation or radiation in semitransparent media. There are many variations within the modes of heat transfer and the different modes must be considered together – in some cases, all three at once. All of this requires different equations that must be handled simultaneously to ensure accurate models.

Researcher may be interested in simulation a multiphysics modeling approach for the many types of heat sources

- model Joule heating (also known as resistive heating) in solids, fluids, shells and layered shells;
- model inline induction heaters and metal processing applications;
- model microwave or radiofrequency, heating in waveguides, tissue and other bio-applications;
- use the Beer–Lambert Law to model laser heating, ablation in various manufacturing and biomedical processes;
- understand the effects of thermal expansion and thermal stress for a variety of operating conditions;
- include the contact thermal conductance coefficient, which depends on the contact pressure from the solid mechanics model;
- thermoelectric effects: account for the Peltier–Seebeck–Thomson effects and include common materials, such as bismuth telluride and lead telluride;
- thin shells: analyze thermal performance when designing electronic devices and power system components;
- heat transfer in porous media: account for conduction and convection in a porous media, as well as thermal dispersion;

- simulate heat transfer in porous media where a local thermal equilibrium is not assumed, as with a rapid flow in the pores;
- electronic cooling: analyze cooling capacity with efficient and accurate simulations, to avoid malfunction and suboptimal designs;
- heat exchangers: analyze fluids carrying energy over large distances, while the solids separate the fluids to exchange energy without mixing;
- medical technology and bioheating: use the bioheat equation to analyze processes in medical applications;
- model heat and moisture transport in air to determine saturation pressure, account for evaporation and avoid condensation;
- thermal management in buildings: analyze thermal performance of wooden frames, window frames, porous building materials and other building structures;
- freeze drying: compute coupled heat and mass balances to simulate an advancing fluid-solid interface through a porous medium;
- spacecraft thermal analysis: compute the spacecraft temperature from the direct solar radiation, albedo and planet infrared flux, as well as the radiative heat transfer between various spacecraft parts.

The Heat Transfer Module offers specialized functionality for modeling heat transfer effects and works seamlessly in the COMSOL Multiphysics platform for a consistent model-building workflow. The Heat Transfer Module contains features for modeling conjugate heat transfer and nonisothermal flow effects. Laminar and turbulent flow can be modeled with natural and forced convection. Pressure work and viscous dissipation can also be activated to affect the temperature distribution.

The Heat Transfer Module provides features for modeling surface-to-surface radiation on diffuse surfaces, mixed diffuse-specular surfaces and semitransparent layers. These features are available for two-dimensional, two-dimensional axisymmetric and three-dimensional geometries. Predefined settings are available for solar and ambient radiation, where the surface absorptivity for short wavelengths (the solar spectral band) may differ from the surface emissivity for the longer wavelengths (the ambient spectral band). In addition, the sun radiation direction can be defined from

the geographical position and time. The view factors are computed using the hemicube, the ray-shooting or direct integration area method. For computationally effective simulations, it is possible to define planes or sectors of symmetry. When combined with a moving frame, the surface-to-surface radiation interface automatically updates the view factors as the geometrical configuration deforms.

To simulate phase change phenomena in heat transfer analyses, the Heat Transfer Module provides two methods. The Phase Change Material feature implements the apparent heat capacity formulation and accounts for enthalpy of phase change and changes in material properties. This method includes the ability to model volume and/or topology changes. Alternatively, the Phase Change Interface feature models phase change following the Stefan energy balance condition to compute the velocity of the interface between two phases that may have different densities. Combined with deformed geometry, this approach is very efficient and effective, when there is no topology change.

With the Heat Transfer Module, researchers have the tools to simulate many types of radiation in semitransparent media: participating media, absorbing and scattering media, also beams in absorbing media.

For heat transfer in thin layers, the Heat Transfer Module provides individual layer models and layered material technology, to investigate heat transfer in layers that are geometrically much smaller than the rest of a model. This functionality is available for thin layers, shells, thin films and fractures. For individual layers, the thermally thin layer model is used for highly conductive materials with heat transfer tangential to the layer and negligible temperature difference on either side of the layer. Conversely, the thermally thick layer model can represent poorly conducting materials that act as a thermal resistance in the shell's perpendicular direction; this model computes the temperature difference between the two layer sides. Finally, the general model provides a highly accurate and universal simulation, as it embeds the complete heat equations. The layered material technology includes preprocessing tools for detailed layered material definition, load/save of layered structure configurations from/to a file and layer preview features. Researcher can visualize

the results in thin and layered structures, as if they were originally modeled as three-dimensional solids. The layered material functionality is included in the AC/DC Module, making it possible to include multiphysics couplings like electromagnetic heating or thermal expansion on layered materials.

Heat and moisture transport requires extensive multiphysics capabilities to couple heat transfer with moisture flow, moisture transport in building materials, moist air and hygroscopic porous media. To study these effects, the Heat Transfer Module includes settings for modeling moisture transport in air and moist porous media coupled with nonisothermal flow. There are tools to analyze water condensation and evaporation on surfaces, also additional features to analyze heat and moisture storage, latent heat effects, as well as diffusion and transport of moisture.

Features are available for computing the heat transfer rate and temperature distributions in a thermal network. The Lumped Thermal System interface supports lumped features such as thermal resistors, heat rate and thermal mass. The software solves an energy conservation equation using the temperatures and heat rates as dependent variables.

For radiative loads and temperature on a spacecraft, the Orbital Thermal Loads interface provides ready-made features for modeling the radiation from the Sun and Earth for satellites orbiting around Earth. This feature makes it possible to include the spacecraft radiative properties, orbit and orientation, orbital maneuvers and planet properties. In addition, the interface computes and generates results that show direct solar radiation, albedo, planet infrared flux, as well as the radiative heat transfer between the different spacecraft parts. The interface can be combined with a Heat Transfer Interface to account for heat conduction in a spacecraft's solid parts.

There are a couple of general steps for building a model in COMSOL Multiphysics. First step is to create the geometry and apply a mesh to it, also apply physics to the geometry. The Physics Menu contains two different settings, which are the Subdomain and Boundary Settings. The Subdomain Settings are used for installing the material properties of the geometry different domains. The Boundary Settings are used for installing boundary conditions on the different materials, also to

install boundaries between materials and their surroundings. The last step is solving the model that has been set up. The researcher can select different settings for the Solver.

There are different submenus in the Comsol simulation environment. The Global Definitions Submenu is used to define the relevant parameters and variables needed in order to create a simulation. Under the Definitions Submenu researcher can do different operations and assign them variables, also chose the relevant coordinate system needed. The Geometry Submenu is used to create the geometry that the finite element analysis is applied on. The Materials Submenu is used to apply different materials (or properties) for different parts of the geometry. The next important Submenu contains the different equations and boundary conditions used in order to simulate. The Study Submenu is used to choose what type of solver that is going to be used. The Results Submenu is used to derive information and results from the finite element analysis. The Mesh Submenu is used to choose what type of mesh that is going to be applied on the geometry.

The main tendency of development for the power engineering and turbogenerator construction always consisted in the constant increasing of capacity unit for electric power station turbo-aggregates, since it reduces the specific cost of both the turbo-aggregates manufacturing and the mounting works, decreases in number of operating personnel and the materials expense per unit of installed power, and also increases the efficiency [101, 102].

The manufacturing of high-power turbogenerators would be impossible without the application of modern cooling systems of the most loaded units. This is especially true for the stator winding. The introduction of direct liquid cooling for the stator winding bars allows to increase the linear load of turbogenerators (up to 3000 A/cm) and the capacity units consequently (up to 1000–1300 MW). At the same time, the introduction of direct liquid cooling for the stator winding is relation with design the additional systems for preparation and circulation distillate, control and support of dielectric indices etc. The reliability of a turbogenerator depends on the reliability of all elements for the stator winding cooling system.

A necessary condition for the reliability during a turbogenerator operation is ensuring of compactness for the liquid cooling system, especially inside the housing. Each the stator winding bar consists of transposed elementary conductors, some of them are hollow and has canals for distillate circulation. Failure of hollow conductor's compactness leads to distillate leakage, moistening of the main insulation, reducing the electrical stability of insulation and, as a result, its electrical breakdown.

When detection of distillate leakage inside turbogenerator housing, for locate and possibly eliminate of damage, the staff immediately stops a generator and inspects of the cooling system state. If the cause of distillate leakage is damage of elementary hollow conductor (or several), an electrical machine is usually requires long-term repairs for replace the damaged bar.

Some turbogenerators manufacturers (for example, the Kharkiv plant «Electrovazhmash») the design of distillate supply to the winding frontal part performs collapsible [103].

When detection damage of hollow conductor's compactness in bar, the distillate supply hose is disconnected, a head bar is opened and access to the distillate inlets into hollow conductors appears. If known which hollow conductors have cracks in the walls, these conductors are plugged (stoppled) from the side of the distillate inlet (a turbine side). This eliminates the need for immediate repair, so replacement of the damaged bar can be performed during the next medium or capital planned and preventive repair. A number of stopple hollow conductors must be limited, and the bar temperature under such conditions should not exceed permissible value for heat resistance class of the winding insulation. Thus, in the operation instruction for turbogenerators by the Kharkiv plant «Electrovazhmash» a number of adjacent stoppled hollow conductors should not exceed two. But it is not contains recommendations for a larger number of stoppled conductors and their location in bar separately from each other.

With the help of a mathematical model realized a simplified (estimated) heat calculation, which not requires a large amount of work and can ensures a correct estimate of heat state for separate elements and units of study object [104, 105, 106]. The use of

approximate calculation methods for generators typical designs is permissible [107, 108]. Since heat influence of the stator and the rotor on each other is small, a separate consideration of their heat state is conventional [104-113].

The heat processes in the stator winding bar of a turbogenerator type TGV-250-2P3 are investigated.

The peculiarity of the bars design is making according to the principle «robel in robel», when their section contains two transposed bars, one of which is located inside the other (Figure 1). For the internal bar on one hollow conductor there are two solid conductors, for the external conductor – three solid conductors. Such design ensures effective transfer of heat losses from elementary conductors even under conditions of partial damages of refrigerant circulation in separate hollow conductors.

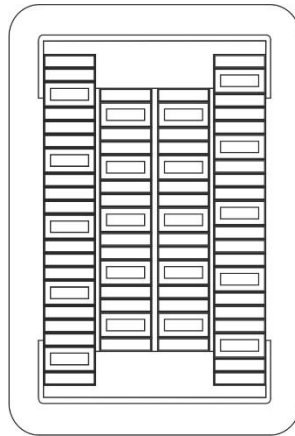


Figure 1. The section of the stator winding bar of a generator

During the development of a mathematical model, a number of assumptions that simplify the calculation and at the same time ensure the reliability of results are applied:

- taking into account the presence of elementary conductors transposition, it is assumed that heat losses in copper is uniformly distributed;
- heat losses in the stator core steel on the radial direction in accordance with the experimental studies results for an analogous power turbogenerator are given [114];

- the calculation area elements as homogeneous anisotropic solids with averaged thermophysical parameters of materials in accordance with the corresponding direction within the calculated elementary volumes are considered [112];
- the calculation area surfaces are smooth, the cooling flow velocity for the surfaces is constant [112];
- heat transfer coefficients of the cooled surfaces according to the known equation [112, 115, 116, 117] and experimental data [114] are determined;
- dependence of thermophysical parameters (coefficients of heat conductivity, specific heat and density) for the stator winding and the stator core materials on temperature is not taken into account;
- when choosing the calculation area, the symmetry and periodic repeatability for the structural elements of the stator winding and the stator core, as well as conditions of the cooling and heat transfer on the tangential direction of the stator core are taken into account [113];
- bar copper losses and the stator core steel losses, as well as thermophysical parameters (coefficients of heat conductivity, specific heat and density) for the expected calculation temperature are given.

Taking into account assumptions, design feature of a turbogenerator and the existing refrigerants circulation system, considered the joint calculation task of three-dimensional temperature field for sector of the stator core packet and the stator winding. Figure 2 shows the finite element mesh of the calculation area for the tooth (slot) division of the stator. The heat connection of the winding slot part with the stator core (steel), as well as the packet surface with the cooling hydrogen is mathematically correctly described.

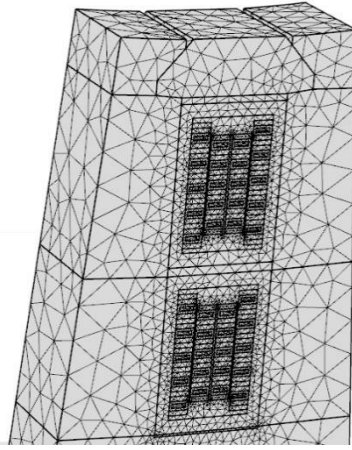


Figure 2. Finite element mesh of the calculation area

The temperature field by the differential equation of heat conductivity is described

$$c(T,l)\rho(T,l)\frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(k(T,l) \cdot \text{grad}T) + Q(T,l), \quad (1)$$

where T is the temperature of the calculation area; c , ρ , k are the specific heat, density and heat conductivity coefficients of material for the calculation area, respectively; Q is the specific volumetric heat losses; l is the corresponding spatial coordinate.

The equation (1) by the following boundary conditions on the external bounds of each calculation subregion is supplemented:

- for the cooling canals of hollow conductors

$$\Delta T_{xi} = \pm \frac{k_c}{h_{xi}} \frac{\partial T}{\partial l_i}, \quad (2)$$

where k_c is the heat conductivity coefficient of hollow conductor cooper; h_{xi} is the heat transfer coefficient from the sides hollow conductor to water;

- for the external heat exchange surface of the stator core packet

$$\Delta T_{xi} = \pm \frac{k_s}{h_{xi}} \frac{\partial T}{\partial l_i}, \quad (3)$$

where k_s is the heat conductivity coefficient of steel packet; h_{xi} is the heat transfer coefficient of the corresponding heat exchange surface to hydrogen;

- the equality of heat flows on the border of elements contact surface is installed

$$\begin{cases} \pm k_i \frac{\partial T_i}{\partial n}(\xi-0) = \Lambda_c [T_i(\xi+0) - T_j(\xi-0)] \\ \Lambda_c [T_i(\xi+0) - T_j(\xi-0)] = \pm k_j \frac{\partial T_j}{\partial n}(\xi+0) \end{cases}, \quad (4)$$

where $\Lambda_c = h_c \cdot F_c$ is the equivalent heat conductivity, h_c is the heat transfer coefficient of contact surface, F_c is the contact area.

Table 1 shows thermophysical parameters for the main materials of structural elements of the stator core and the stator windings, which are used in the calculation.

Table 1.

Thermophysical parameters of the main structural materials of a generator

Material	Calculated value of heat conductivity coefficient, W/(m·K)
Copper of bar conductors	400
The main insulation of bar	0,185
Steel of packet	
- along the sheets	20
- across the sheets	1,9
Glasstextolite of gaskets between bars	0,34
Insulation of elementary conductors	0,22
Epoxy mastic	0,59

Table 2 presents heat transfer coefficients for the heat exchange surfaces of the main structural elements, which are used in the calculation.

Table 2.

Heat transfer coefficients for the heat exchange surfaces of structural elements

Surface	Calculated value of heat transfer coefficient, W/(m ² ·K)
Surface of stator boring	200
The inner surface of hollow conductors of winding bar	175
Radial canal between stator packets	
- in the tooth zone	160
- in the yoke zone	100
The outer surface of the yoke	120

Thin-layer structures, such as the insulation of elementary conductor (0,17 mm per side) and the insulation of hollow conductor (0,2 mm per side), are taken into account by using the equivalent heat transfer coefficient – the ratio for heat conductivity of corresponding insulation to the thickness of corresponding insulation ($\alpha_{eq} = k_i/\delta_i$).

The reliability of a mathematical model for heat processes in the stator winding bar by comparing the test calculation results with the data of heat control staff system for analogous type and power turbogenerator under rated load conditions is verified [114]. The discrepancy between temperature distribution in the active elements (copper bars, iron packet) obtained with the help of a mathematical simulation and operational data not exceeds 10 % that for test heat calculations is permissible. As can be seen in Figure 3, the maximum temperature (70 °C) there is in the steel packet at the tooth root.

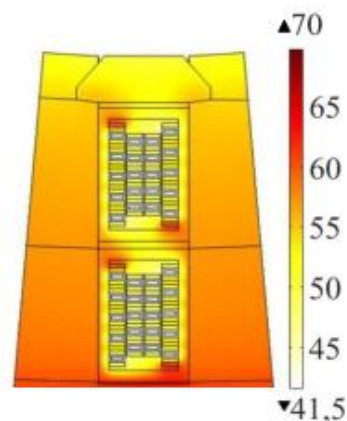


Figure 3. Temperature distribution in the calculation area of a turbogenerator under rated load conditions without refrigerant circulation damage

Following a mathematical simulation founded that under turbogenerator rated load conditions and damage of distillate circulation in two adjacent hollow elementary conductors, the maximum temperature of bar copper not exceeds the limit permissible value (140 °C) and at the rated temperature distillate (40 °C) is 111 °C (Figure 4, a). If three elementary hollow conductors without distillate circulation, the maximum temperature of bar copper depends on their mutual position. When three stoppled hollow conductors are located in the same column, the temperature is 113 °C (Figure

4, b). If these conductors are concentrated in the angular zone of bar section, the maximum temperature reaches the limit permissible value (Figure 4, c).

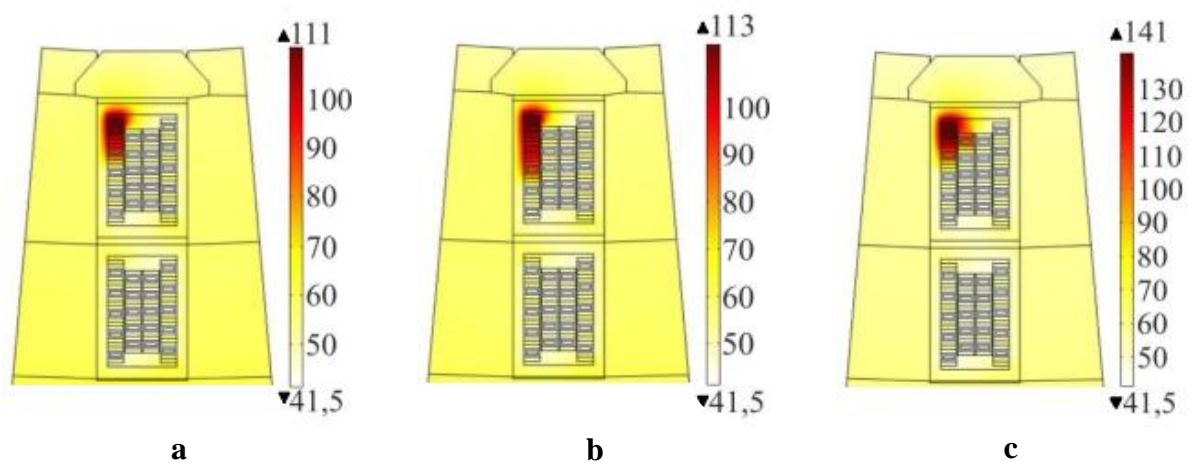


Figure 4. Temperature distribution in the calculation area of a turbogenerator under rated load conditions at the various variants of refrigerant circulation damage

When in the same column a number of adjacent hollow conductors without refrigerant circulation does not exceed three, a turbogenerator without any restrictions on the active load can be operated. If four stoppled conductors are located in the internal bar, a similar conclusion can be made. The maximum temperature of copper in these cases is 113 °C and 105 °C respectively, and the transfer of excess losses there is due to the heat connection between the internal and external bars.

If three stoppled conductors are concentrated in one place (for example, one stoppled conductor – in the external bar, and two stoppled conductors – in the internal bar, or vice versa), the maximum temperature reaches the limit permissible value (140 °C). This requires concentration attention on the control by staff means – the resistance thermometers, which are located between bars and at the distillate outlet from bar. If in the first case due to the winding transposition the probability of detection damage is not more than 5 %, then at the distillate outlet increase in the temperature as compared with normal state is almost 3 °C, which can be defined as a indication of the cooling damage.

In the case a larger number of hollow conductors without distillate circulation, the maximum temperature depends on their mutual position. If hollow conductors without distillate circulation are concentrated in one zone, the maximum temperature

exceeds the limit permissible value: for four conductors in one zone, the maximum temperature is 160 °C, and for five conductors in one zone – 170 °C. In such cases it is possible to operate further a turbogenerator only under conditions of active load limitation. Thus, when near located four stoppled hollow conductors, the active load should be reduced to 85 % from rated value, and at the five near located stoppled conductors – down to 75 % from the rated value.

For cases other combinations of stoppled conductors location in the bar section, the additional researches of maximum temperature definition of the stator winding bar is required. If it is necessary to operate temporarily a turbogenerator with stoppled conductors in the stator winding bar, a permissible number of damaged conductors and their possible mutual position in the bar should be defined. At the same time, it is necessary to define the permissible load level of a turbogenerator with the damaged winding.

It is proved with the help of experimental and theoretical studies that during a powerful turbogenerator operation there is the heat tangential unevenness of the stator core end packets, especially under conditions of reactive power consumption [118–121]. In some cases, the temperature of separate teeth can vary by 1,8–2,0 times. For the interphase zone teeth, the adjacent slots of which contain the different phase's bars of the stator winding, this is especially true. The heat level of interphase zone teeth depends on location of the different phase's bars in the adjacent slots. The maximum heat there is in the teeth, the adjacent slots of which contain the different phase's bars of the winding lower layer. The temperature level can exceed permissible value for the stator iron (120 °C) that negatively effects on the reliability of the stator winding and a turbogenerator as a whole. Therefore, the scientific substantiation of technical solutions efficiency for the decrease in heat of teeth at phase zones junction of the stator winding, as well as the heat tangential unevenness of the stator core end packet is an urgent task. For realize variations calculations of temperature in the packet separate zones under different cooling conditions, the development of a mathematical model of heat processes in the stator core end packet is required.

With the help of a mathematical model realized a simplified (estimated) heat calculation. The use of approximate calculation methods for generators typical designs is permissible [107, 108]. Since heat influence of the stator and the rotor on each other is small, a separate consideration of their heat state is conventional [104-113].

The heat processes in the stator core end packet of a turbogenerator type TGV-200 are investigated.

During the development of a mathematical model, a number of assumptions that simplify the calculation and at the same time ensure the reliability of results are applied:

- taking into account the presence of elementary conductors transposition, it is assumed that heat losses in copper is uniformly distributed;
- heat losses in the stator core steel on the radial direction in accordance with the experimental studies results for an analogous power turbogenerator are given [114];
- the calculation area elements as homogeneous anisotropic solids with averaged thermophysical parameters of materials in accordance with the corresponding direction within the calculated elementary volumes are considered [112];
- the calculation area surfaces are smooth, the cooling flow velocity for the surfaces is constant [112];
- heat transfer coefficients of the cooled surfaces according to the known equation [112, 115, 116, 117] and experimental data [114] are determined;
- dependence of thermophysical parameters (coefficients of heat conductivity, specific heat and density) for the stator winding and the stator core materials on temperature is not taken into account;
- when choosing the calculation area, the symmetry and periodic repeatability for the structural elements of the stator winding and the stator core, as well as conditions of the cooling and heat transfer on the tangential direction of the stator core are taken into account [113];
- bar copper losses and the stator core steel losses, as well as thermophysical parameters (coefficients of heat conductivity, specific heat and density) for the expected calculation temperature are given.

Taking into account assumptions, design feature of a turbogenerator and the existing refrigerants circulation system, considered the joint calculation task of three-dimensional temperature field for sector of the stator core end packet and the stator winding. The calculation area includes three tooth (slot) divisions of the stator for the possibility of comparing the heat level in the interphase zone teeth, the adjacent slots of which contain the different phases bars of the stator winding lower layer, with heat in the teeth that contain one phase bars in adjacent slots (Figure 5). Figure 6 show the finite elements mesh for part of the calculation area. The heat connection of the winding slot part with the stator core (steel), as well as the corresponding packet surface and the bar cooling tubes with the refrigerant (hydrogen) is mathematically correctly described.

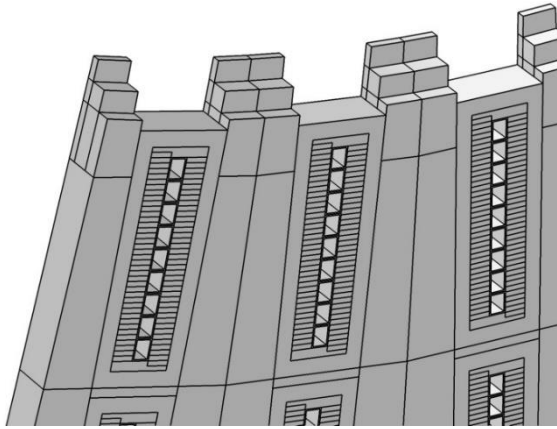


Figure 5. The calculation area of the stator core end packet of a turbogenerator

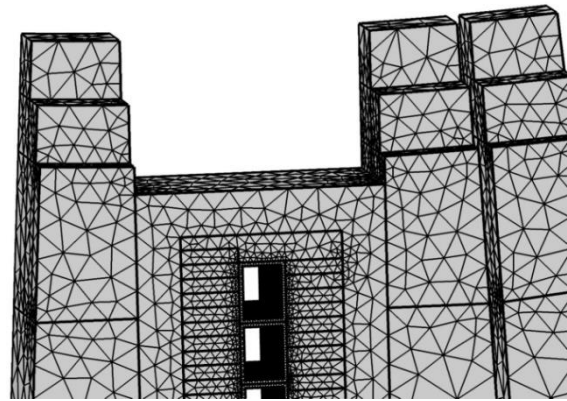


Figure 6. Finite elements mesh for the calculation area

The temperature field by the differential equation of heat conductivity (1) is described

$$c(T,l)\rho(T,l)\frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(k(T,l) \cdot \text{grad}T) + Q(T,l). \quad (1)$$

The equation (1) by the following boundary conditions on the external bounds of each calculation subregion is supplemented:

- for canals of cooling tubes of the winding bars

$$\Delta T_{xi} = \pm \frac{k_{s.s}}{h_{xi}} \frac{\partial T}{\partial l_i}, \quad (5)$$

where $k_{s,s}$ is the heat conductivity coefficient of tube stainless steel; h_{xi} is the heat transfer coefficient from the sides cooling tube to hydrogen;

- for the external heat exchange surface of the stator core packet is installed (3)

$$\Delta T_{xi} = \pm \frac{k_s}{h_{xi}} \frac{\partial T}{\partial l_i}; \quad (3)$$

- for the border of elements contact surface is installed (4)

$$\begin{cases} \pm k_i \frac{\partial T_i}{\partial n}(\xi-0) = \Lambda_c [T_i(\xi+0) - T_j(\xi-0)] \\ \Lambda_c [T_i(\xi+0) - T_j(\xi-0)] = \pm k_j \frac{\partial T_j}{\partial n}(\xi+0) \end{cases} \quad (4)$$

Table 3 shows thermophysical parameters for the main materials of structural elements of the stator core and the stator windings, which are used in the calculation.

Table 3.

Thermophysical parameters of the main structural materials of a generator

Material	Calculated value of heat conductivity coefficient, W/(m·K)
Copper of bar conductors	400
The main insulation of bar	0,185
Steel of packet - along the sheets - across the sheets	20 1,9
Glasstextolite of gaskets between bars	0,34
Insulation of elementary conductors	0,22
Insulation of colling tube	0,2
Stainless steel of cooling tube	17
Epoxy mastic	0,59

Table 4 presents heat transfer coefficients for the heat exchange surfaces of the main structural elements, which are used in the calculation.

Table 4.

Heat transfer coefficients for the heat exchange surfaces of structural elements

Surface	Calculated value of heat transfer coefficient, W/(m ² ·K)
Surface of stator boring	200
The inner surface of cooling tube of winding bar	175
Radial canal between the first and second stator packets	
- in the tooth zone	160
- in the yoke zone	100
Canal between the press plate and the stator end packet	
- in the tooth zone	90
- in the yoke zone	100
The outer surface of the yoke	120

Thin-layer structures, such as the insulation of elementary conductor (0,17 mm per side) and the insulation of colling tube (0,2 mm per side), are taken into account by using the equivalent heat transfer coefficient – the ratio for heat conductivity of corresponding insulation to the thickness of corresponding insulation ($\alpha_{cq} = k_i/\delta_i$).

Heat losses in the interphase zone tooth in accordance with the experimental studies data on a scale physical model of a similar turbogenerator end zone are defined [114]. In particular, found that heat losses in the teeth, the adjacent slots of which contain the different phase's bars of the stator winding lower layer, 1,795 times as higher than heat losses in the teeth with only one phase bars in adjacent slots.

The reliability of a mathematical model for heat processes in the stator end packet is verified by comparing the calculated temperature field with the experimental studies data for the tooth outside of interphase zone, the adjacent slots of which contain the one phase bars, obtained for analogous type and power turbogenerator under rated load conditions [114]. According to results of calculation and experimental studies, the temperature discrepancy of separate zones is not more than 7 % that for heat calculations is permissible (Figure 7).

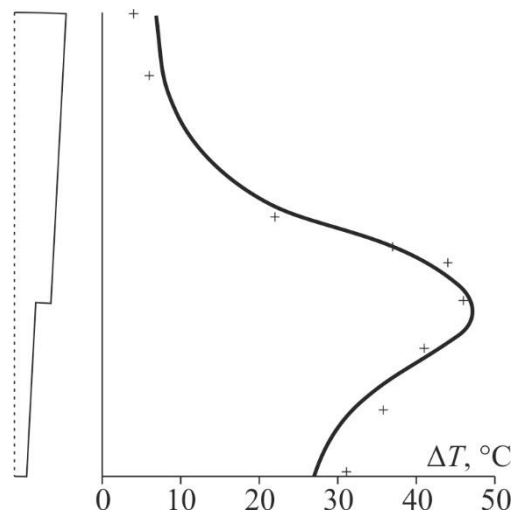


Figure 7. Comparison for the calculated steel overheating on the end packet surface (solid curve) with the experimental studies data (marked by «+»)

Figure 8 shows obtained with the help of a mathematical simulation the temperature distribution in the stator core end packet for the interphase zone tooth and the tooth outside of interphase zone under turbogenerator rated load conditions (temperature of the cooling hydrogen is 40 °C). For clearness, the temperature values on the end packet surface are also shown in Figure 8. The maximum temperature of packet steel in interphase zone exceeds the permissible level (120 °C) and there is in the middle of thickness at the tooth root. During a turbogenerator operation under conditions of reactive power consumption, the temperature level will be still more that negatively effects on the main insulation of the stator winding and the reliability of electrical machine [114, 122-126].

A well-known method to the decrease in tangential unevenness and heat level of the stator core end packet of a turbogenerator is primarily the intensification for transfer of heat losses to the cooling hydrogen. As the experimental studies data show [114], the most part of heat losses transfers from the end packet surface into the radial ventilation canal between the end packet and the second packet of the end stator core, as well as into the ventilation canal between the press plate and the end packet (total volume is almost 95 %). Therefore, one of the effective means to the decrease in heat tangential unevenness of the stator end packet is the redistribution of the cooling hydrogen flow between the press plate and the end packet with a simultaneous increase

in volume, which towards on the cooling of interphase zone, by appropriate apertures in the gas-distributive cylinder. As a result, the hydrogen flow in interphase zone (and the heat transfer coefficient, correspondingly) can be increased by 1,5–2 times without the cooling deterioration other elements and units of the stator end zone.

According to the mathematical simulation results (Figure 9), with the increase in heat transfer for the end surface of interphase zone tooth in the ventilation canal between the press plate and the end packet by 1,5 times, the maximum temperature of end packet can be reduced to 109 °C (by 11,4 %).

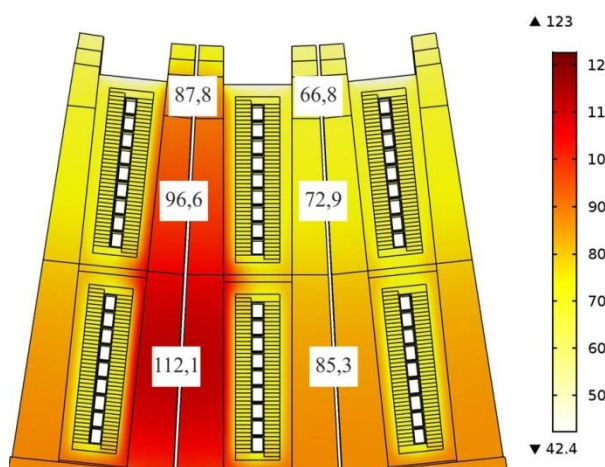


Figure 8. Temperature distribution in the stator core end packet of a turbogenerator under rated load conditions

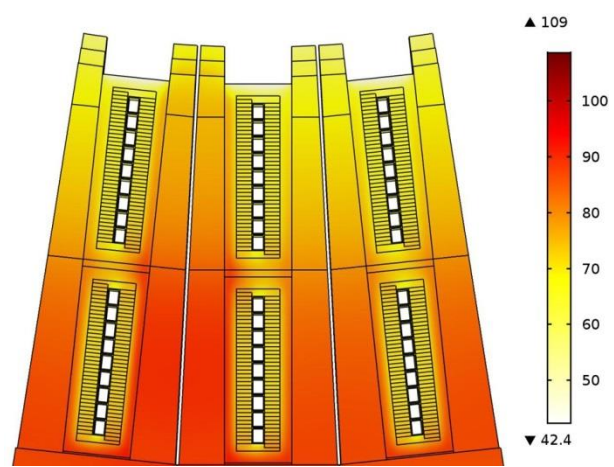


Figure 9. Temperature distribution in the stator core end packet of a turbogenerator at the cooling intensification of interphase zone

Another promising way to the decrease in total heat level of the stator core end packet is the increase in heat conductivity of laminated iron across the sheets. One of technologies that allows to increase in transverse heat conductivity is gluing of the packet sheets, for example, with the help of epoxy glue EK-3. This increases the mechanical stiffness of a turbogenerator stator packet under conditions of variable load and reactive power consumption. The heat conductivity of the glued packet averages 3,4 W/(m·K) that almost twice as high analogous value in the absence of gluing (1,9 W/(m·K)) [117]. The addition of dispersed insulating fillers with a high heat conductivity ($\geq 5\text{--}10$ W/(m·K)) in glue allows to increase in equivalent heat conductivity of packet to 5–6 W/(m·K).

As can be seen in Figure 10, according to the mathematical simulation results, the maximum temperature level of the teeth steel is 118 °C (decreases by 4 %) at the transverse heat conductivity 3,4 W/(m·K).

Figure 11 shows the mathematical simulation results for a simultaneous application of the cooling intensification of interphase zone tooth and the increase in transverse heat conductivity of steel. According to these results, this technical solution allows to reduce in maximum temperature level of the tooth steel to 103 °C (by 16,3 %). The maximum temperature reserve of the packet teeth is 20 °C that allows to increase in load diapason of a turbogenerator under conditions of reactive power consumption.

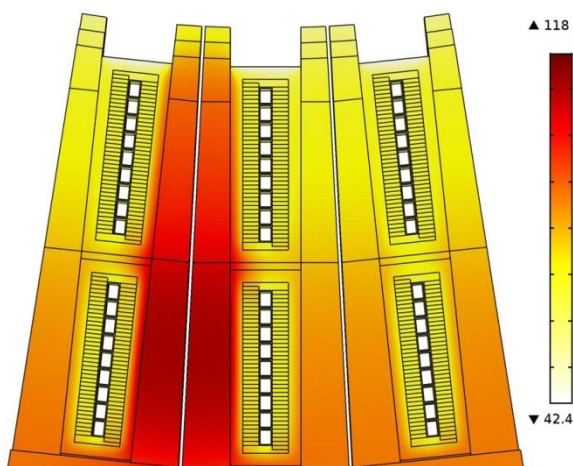


Figure 10. Temperature distribution in the stator core end packet of a turbogenerator at the transverse heat conductivity of steel 3,4 W/(m·K)

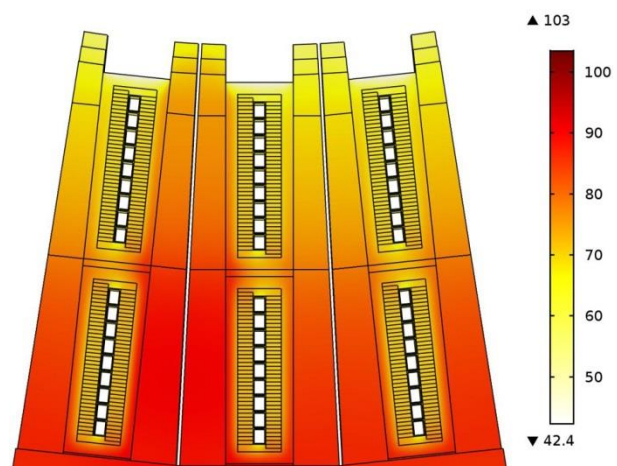


Figure 11. Temperature distribution in the stator core end packet of a turbogenerator at the transverse heat conductivity of steel 3,4 W/(m·K) and the cooling intensification of interphase zone

For reduction of addition losses from the axial magnetic field, in more new modifications of a turbogenerator type TGV-200 in the stator core end packets there are longitudinal cuts (slits) on the height of the tooth (from crown to root). To ensure the mechanical stiffness of packets, the slits are filled with epoxy resin with certain admixtures (performed monolithic). The refrigerant circulation in slits of interphase zone teeth allows significantly to increase the efficiency for transfer of heat losses. The temperature distribution on the end packet surface obtained with the help of a mathematical simulation at the heat transfer coefficient in slits 100 W/(m²·K) is shown

in Figure 12. Under such conditions the maximum temperature of packet can be reduced to 106 °C (by 13,8 %).

As can be seen in Figure 13, a simultaneous (complex) application of the above measures allows to reduce in maximum temperature of stator core end packet to 94,6 °C (by 23,1 %). In this case, the maximum heat there is in depth of the tooth outside of interphase zone and the highest temperature of interphase zone tooth is 89,6 °C.

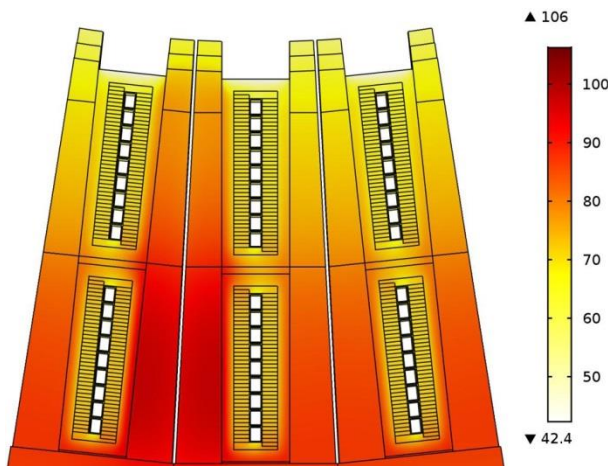


Figure 12. Temperature distribution in the stator core end packet of a turbogenerator at the ventilation of longitudinal slit of interphase zone tooth

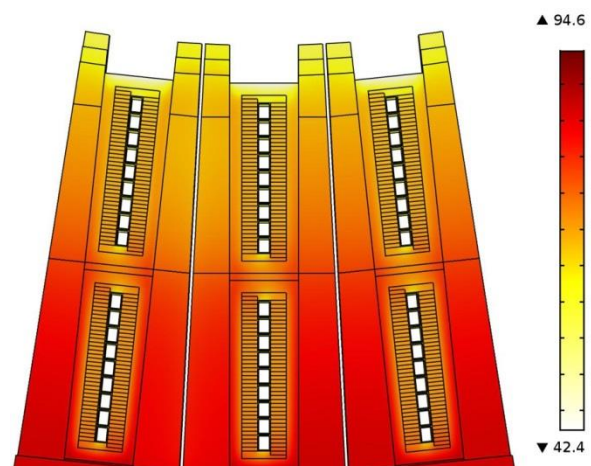


Figure 13. Temperature distribution in the stator core end packet of a turbogenerator at the complex application of technical solutions

Thus, the complex application of the above technical solutions allows to obtain almost the same level for the heat teeth of the stator core end packet on the tangential direction regardless of their location relatively the stator winding under turbogenerator rated load conditions. In general, the maximum temperature reserve of the stator packet steel is 25,4 °C that allows to increase the reliability and load capacity of a turbogenerator.

The technological progress of cooling systems and the cooling intensification of turbogenerators active parts caused a significant increasing of material use coefficient that is development for the economical method of manufacturing turbogenerators, despite construction complication due to the need of auxiliary systems for the cooling systems: gas system, oil supply system of shaft compression, water cooling system of the windings [102].

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

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

the use of each new system will be at the bottom of reduce the probability of a turbogenerator unfailing operation as a whole, unless simultaneously the unfailing operation probability for all or a certain number of component parts and auxiliary systems is increased accordingly [127]. But if the P_{oi} is close to 1 and meets the limits of technological capabilities, due to the growth of power unit and the rise of use degree coefficient, a turbogenerator complication leads to the inevitable reduction of reliability operation and the increase in losses from unplanned repairs [128, 129, 130].

The reliability statistics of generators 200–1000 MW [102, 103, 127] illustrates the above facts (Figure 14).

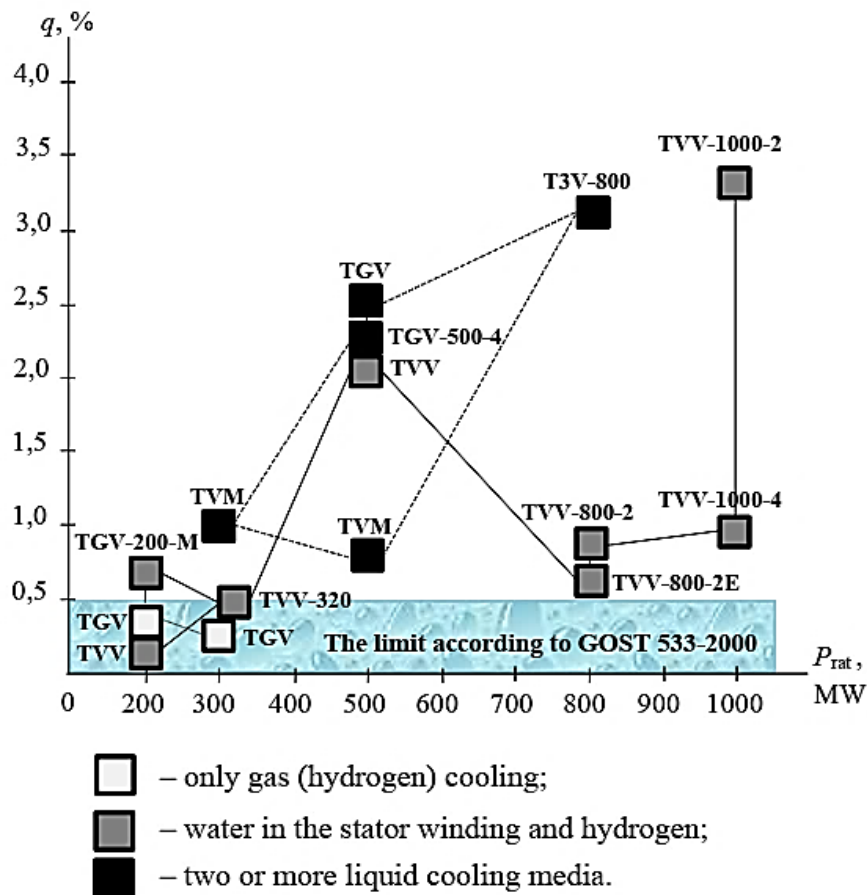


Figure 14. The forced downtime coefficient q of turbogenerators according to the average data for 1993–2022 years

The lowest forced downtime coefficient $q = 0,2-0,3$ % (at a limit normative value 0,5 %) has only generators with hydrogen cooling, a power 200 and 300 MW. The next group is machines with hydrogen-water cooling contain only 2 of 8 machines types that satisfy the standards of reliability. In the group of machines with windings water cooling and full water cooling, no generator satisfies the requirements of reliability. Foreign statistics gives quantitatively similar results [103, 127, 131].

Therefore, for achievement of the highest possible reliability of a turbogenerator with any unit power, it is necessary to limit the use of water and other liquid agents as a cooling media, and for achievement of sufficient fire and explosion safety – do not use hydrogen at all.

It is very important for nuclear power stations, to ensure fire and explosion safety of turbogenerators in the engine room. This is requires a number of protective arrangements for turbogenerators with hydrogen cooling, but the most radically method can be realized in practice by refusal for hydrogen cooling. The hydrogen cooling of a turbogenerator active parts requires not only the presence of a gas system with special equipment that allow safe filling a generator housing with hydrogen and it displacement with inert gas and then air, but also the presence of oil supply system with pumps, filters, heat exchangers for the operation of shaft compression. If in bearings oil systems today fire safety can be ensured by the use of non-combustible lubricating oil, due to the inevitability entering oil from the shaft compression in a turbogenerator housing and the aggressiveness of non-combustible oil to high-voltage insulation and lacquer protective coats, for compression oil systems this way is unacceptable. Therefore, refusal for hydrogen cooling of a turbogenerator active parts and the absence of oil shaft compression allow completely excluding combustible materials from the zone, where these materials can ignite.

Approximately 15–20 % failures of turbogenerators with hydrogen cooling occurs due to a damage in the operation of gas system elements and oil compression with oil supply system, in particular, – a damage of gas-compactness. Most cases for a damage of gas-compactness are not accompanied by hydrogen ignition.

The probability of fire in gas-oil systems is estimated 0,5–1 % for a generator operation period at the year. The typical causes of fire are the hydrogen ignition when leakage through a damage of compactness or crack of gaskets in the flanges, through the valves hydro-seals on the discharge oil with compression when defect of valves or level regulators, through damage of compactness in the connectors of outer shields, the compression frame, through the shaft compression at the various defects of compactness, when the wrong work of regulators change pressure «oil-hydrogen» and reserve systems etc.

The oil may also fire, when leakage through damage of compactness or crack of gaskets in the flanges or fitting.

With the sharp increase in shaft-conductor vibration that accompanied by damage of shaft and bearings, there are also damage of hydrogen compressions, outer shields and, consequently, catastrophic damages of the compressions for hydrogen cooling system with subsequent ignition of oil-hydrogen blend and fire in the engine room that leads to damage or collapse of the roof structure. Such severe accidents are negligible quantity (approximately 0,1–0,3 % for a generator operation period at the year), but leads to significant economic losses. In this case, there is the high probability of human death. These accidents usually occur as a result of the turbogenerator failure for reasons unrelated to the generator itself (for example, breaking of blades turbines, motor condition, shaft damage). Therefore, the prevention of catastrophic fires and explosions or reduction of significant losses in such cases is possible only with the help of complex systems for vibration diagnostics, which provides immediate stop of a machine and automatic accelerated displacement of hydrogen when vibrations speed over 45 mm/sec.

Improvement of gas-oil system for a turbogenerator with hydrogen cooling allows to prevent the most of known causes of fire, but it is impossible to prevent everything, especially considering that more malfunctions in the gas-oil system and shaft compressions related with insufficient qualification of maintenance crew [132].

Therefore, the possibility of refusal for powerful turbogenerators with hydrogen cooling of electric power stations is advisable, especially for nuclear power stations

taking into account the high level of power unit. In this case, the main attention should be focused on turbogenerators with air cooling that are simplicity and reliability in operation.

Today in the world already accumulated some experience in the manufacturing of turbogenerators with direct air cooling and a power up to 500 MW. «Toshiba» has created a unique turbogenerator with air cooling and a power 520 MW. Further increasing power unit of machines with air cooling is limited by the windings heat.

At the Kharkiv plant «Elektrovazhmash» was developed a series of turbogenerators with air cooling and a power unit from 120 to 320 MW. Thus, at the beginning of 2000 years was tested and sent to customer the main model of a new unified series TA with full air cooling for steam and gas turbines – a turbogenerator type TA-120 with a power 120 MW (Figure 15).

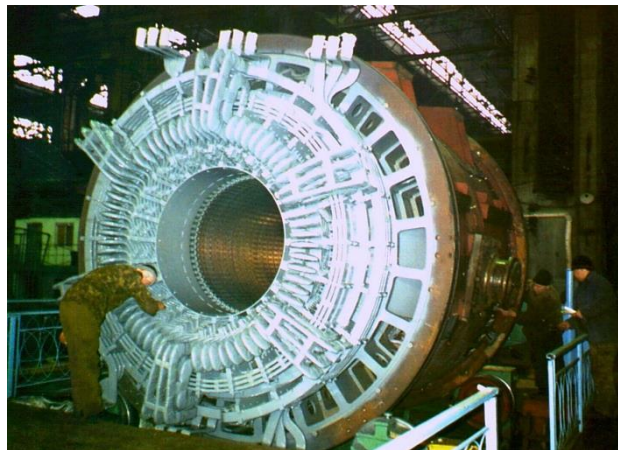


Figure 15. The main model of a turbogenerator type TA-120

Turbogenerators with full air cooling have a number of advantages against turbogenerators with hydrogen cooling and hydrogen-water cooling. These advantages determines the technical and economic expediency of the use in electric power stations with high requirements for reliability and environmental compatibility, increasing of permissible load diapason, reduction of operating costs etc. The main of them are:

- increased readiness coefficient 0,997–0,998 in comparison with 0,95–0,995 for machines with direct liquid cooling and hydrogen cooling;

- simplified operation and repair conditions, that reduction of realization time and cuts in expenditure of repair works;
- increased fire and explosion safety;
- design simplicity that is a prerequisite for reduction of development time and a start in manufacturing of the main models;
- facilitation of automation procedure and diagnosis;
- increased maneuverability;
- the possibility for creating a frame with less gas compression, as well as the absence of oil shaft compression and oil supply system;
- no other cooling systems (hydrogen and water);
- no need to use of scarce materials at the manufacturing, for example, rubber compressions, fluorine-plastic hoses, hollow copper conductors etc.

In addition, on the economical standpoint, it is necessary to take into account the estimation of prevention loss from possible fire and cuts in expenditure of fire protection.

The use of full air cooling was made possible due to the application of a new design and technical solutions. The winding direct cooling with gas distribution from the slot canal on the radial slit-like apertures in the winding conductors and displacement of gas into the air gap between the stator and the rotor were applied for the rotor. The stator core and the stator winding are cooled by presence of gas on the system of radial and axial canals without inflow gas (which cools the stator) to the air gap – that significantly reduces mechanical losses and heat of cooling gas. The use of indirect cooling for the stator winding was made possible due to the application of a new thinner insulation of Class F, electrotechnical steel with thickness 0,35 mm and reduced specific losses, also reduced current density by the use of asymmetrical multi-parallel windings with the number of parallel branches exceeds the number of poles, together with the phases connection according to the scheme «triangle» (for some performances).

All this made it possible to create a unified series of turbogenerators with the same transverse geometry and almost identical electromagnetic loads that allow unifying

equipment and tools, cuts in expenditure of preparation production of the whole series and, as a result, accelerates simultaneous manufacturing of turbogenerators with a various power.

For increasing maneuverability of generators, the special elastic junction system of stator core component parts is used. For ensure the operation under conditions of reactive power consumption, the stator core end zone with the copper shield under press plate, stepped form of end packets, reduction of their thickness and gluing is applied [124]. In addition, for identify the optimal design of the stator core end zone, a different variants on the main model of a turbogenerator are tested.

A new series of turbogenerators with full air cooling is designed taking into account the possibility for mounting on the foundations of machines with identical power, hydrogen cooling and hydrogen-water cooling, which have ended rated life. In the first place, such turbogenerators can be mounted instead of generators with powers 100, 150 and 200 MW. At the same time, the possibility for replacement of turbogenerators type TVV with a power 220 MW (Rivne nuclear power stations) is being considered.

Subsequently, at the Kharkiv plant «Elektrovazhmash» was developed a series of generators with air cooling and a power up to 320 MW, including asynchronized generators, and realized the non-hydrogen (nitrogen) cooling system for a quadripolar turbogenerator type TGV of power 500 MW (Novovoronezh nuclear power stations).

Conclusions

One of the main problems in the thermal study of electrical machines concerns their winding, where the temperature rises to maximum value. The thermal characteristics of an electrical machine are important, since the temperature rise in the windings usually defines the power that can be obtained from the machine. With the use of COMSOL Multiphysics based on the FEM, hot spots in the stator winding of a powerful turbogenerator are found. When in the same column a number of adjacent hollow conductors without refrigerant circulation does not exceed three, a turbogenerator type TGV-250 without any restrictions on the active load can be operated. When near located four stoppled hollow conductors, the active load should

be reduced to 85 % from rated value, and at the five near located stoppled conductors – down to 75 % from the rated value.

The heat level of interphase zone teeth of the stator core end packet, the adjacent slots of which contain the different phase's bars of the winding lower layer, exceeds permissible value (120 °C) under rated load conditions of a powerful turbogenerator type TGV-200. Effective methods to the increase in transfer of heat losses from the end packet of a powerful turbogenerator are the cooling intensification of interphase zone by the redistribution of the hydrogen flow between the press plate and the end packet, the increase in transverse heat conductivity for packet steel by gluing of the packet iron sheets, as well as the ventilation of longitudinal slit of interphase zone teeth. The complex application of these technical solutions allows to reduce the maximum temperature of the stator core end packet by 23 %, to eliminate the heat tangential unevenness of the stator end packet, to increase the reliability and load capacity of a turbogenerator, as well as to increase in regulation diapason under conditions of reactive power consumption.

A design complication and the use of new auxiliary systems for the cooling intensification with increasing power unit lead to reduction of generator reliability. Therefore, the possibility of refusal for powerful turbogenerators with hydrogen cooling of electric power stations is urgent task, especially for nuclear power stations. In this case, it is important to take into account the tendency to the increasing of reliability for turbogenerators operation with the help of a design simplification and simultaneous non-use in a number of auxiliary systems. The modern level of engineering and technologies allows to develop high-power turbogenerators with full air cooling for ensuring a fire and explosion safety of thermoelectric and nuclear power stations.

SECTION 5. ELECTRONICS

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.5.1

5.1 Схемотехнічна реалізація операцій над логіко-часовими функціями

Сучасний розвиток обчислювальної техніки, цифрової схемотехніки та систем автоматизованого управління все частіше стикається із завданнями, що вимагають опрацювання складних логіко-часових залежностей [133, 134, 135].

Використання методів математичного моделювання в поєднанні з комп'ютерними технологіями для розв'язання інженерних і наукових завдань дозволяє значно підвищити ефективність складних процесів, таких як проектування технічних систем, розпізнавання образів, обробка великих масивів даних та управління динамічними об'єктами. Завдяки високій швидкості обчислень, можливості обробки складних нелінійних залежностей та імітації різних сценаріїв, математичне моделювання із застосуванням сучасних комп'ютерних засобів стало основним інструментом аналізу та оптимізації складних динамічних систем. Це дозволяє не лише глибше розуміти поведінку об'єктів і процесів у різних умовах, а й прогнозувати їхній розвиток, що є особливо важливим у науці, техніці та промисловості.

Сучасні комп'ютери, за винятком спеціалізованих систем, розроблених для керування технологічними процесами, є універсальними обчислювальними пристроями. Ця універсальність дозволяє використовувати їх у широкому спектрі завдань, але водночас вимагає створення спеціалізованих алгоритмів, здатних ефективно розв'язувати конкретні проблеми. У багатьох випадках розроблені алгоритми не повною мірою враховують динамічний характер змін, що відбуваються в керованих системах або досліджуваних процесах. Це може призводити до неточностей у моделюванні, обробці даних та прогнозуванні їхнього подальшого розвитку.

Особливо це актуально для складних систем, де процеси тісно взаємопов'язані та змінюються у часі під впливом різноманітних факторів. Неповний облік цих взаємодій може стати причиною накопичення помилок,

некоректних оцінок і неправильних рішень. Для мінімізації таких ризиків необхідне застосування математичного апарату, який здатний адекватно описувати поведінку складних, взаємозалежних процесів у часовому просторі. Використання методів математичного моделювання, зокрема диференціальних рівнянь, стохастичних моделей та нейромережевих підходів, дозволяє більш точно аналізувати, прогнозувати та оптимізувати складні динамічні системи.

На рівні обчислювальних пристроїв час відіграє роль критерію для впорядкування послідовності виконання операцій або програм, які обробляють дані. При цьому його вплив є неявним, оскільки він визначає логіку та порядок виконання інструкцій без прямої фіксації абсолютних часових значень.

Водночас на рівні окремих апаратних вузлів час є ключовим параметром, який враховується безпосередньо і відіграє критичну роль у забезпеченні узгодженої роботи цифрових компонентів. У цьому контексті він представлений у вигляді тактових сигналів або синхронізуючих імпульсів, які задають ритм обчислювальних процесів та гарантують коректне виконання операцій. Тактові імпульси координують роботу окремих блоків, синхронізуючи обмін даними між процесором, пам'яттю та іншими периферійними пристроями, що забезпечує узгодженість і стабільність роботи системи загалом.

Логіко-часові функції (ЛЧФ), які поєднують у собі властивості класичних булевих функцій із динамічними характеристиками, є основою для моделювання процесів, аналізу складних технічних систем і побудови ефективних апаратних рішень для цифрової обробки інформації.

З огляду на зростаючі вимоги до швидкості, точності й енергоефективності обчислень, питання оптимальної реалізації операцій над ЛЧФ у схемотехнічній площині стають особливо актуальними. Це стосується не лише обробки даних у системах реального часу, а й моделювання часових процесів у цифрових пристроях, таких як комутаційні схеми, синхронізовані логічні блоки та модулі програмованих логічних інтегральних схем (FPGA).

У контексті схемотехнічної реалізації операцій над ЛЧФ перед дослідниками постають такі ключові завдання:

1. **Формалізація ЛЧФ та вибір методів їх опрацювання:** це включає опис функцій у математичних моделях, визначення алгоритмів виконання основних операцій і аналіз їх оптимальності.

2. **Проектування базових схемотехнічних блоків:** до них належать модулі, що реалізують базові операції над ЛЧФ, зокрема логічні операції, операції затримки, складання часових інтервалів, диференціювання, інтегрування тощо.

3. **Оптимізація апаратної реалізації:** мінімізація витрат апаратних ресурсів, енергоспоживання та часових затримок. Особлива увага приділяється вибору архітектури: від традиційних жорстко заданих схем до гнучких програмованих рішень.

4. **Практична реалізація та тестування:** створення прототипів, перевірка їх працездатності на реальних завданнях і оцінка ефективності.

В даній роботі розглянемо проектування базових схемотехнічних блоків, які базуються на формалізації ЛЧФ та операцій над ними, розглянуті в роботах автора [136 – 139].

Багатозначними логіко-часовими функціями (БЛЧФ) будемо називати такі логічні k -значні ($k \geq 2$) функції, які змінюються в дискретному часі і можуть набувати одне із значень від 0 до $k-1$ на кожному Δ -інтервалі, що входить до якогось фіксованого кінцевого часового інтервалу існування змінних, за межами цього інтервалу функція дорівнює нулю [136]. Моменти початку часових інтервалів існування t_i та їх тривалість T_i дискретні. Значення t_i та T_i називають часовими координатами змінних.

Аналіз можливих варіантів БЛЧФ дозволив виділити три основних класи функцій (повна система):

- 1) клас БЛЧФ, що між двома нулями приймають сталі значення (елементарні ЛЧФ);
- 2) клас БЛЧФ, які мають n часових координат, відрізки існування яких не перетинаються;
- 3) клас монотонних функцій.

Наприклад, елементарна БЛЧФ (див. рис.1), область визначення якої складається лише з одного відрізка існування, в загальному вигляді має вид:

$$f(t, t_1, T_1, a_1) = \begin{cases} a_1, & \text{якщо } t_1 \leq t \leq t_1 + T_1 \\ 0, & \text{якщо } t_1 + T_1 < t < t_1 \end{cases}, \quad (1)$$

де t – поточне дискретне значення параметру;

T_1 – інтервал існування функції;

a_1 – одне із k значень функції

t_1 – початок часового інтервалу

$t_1 + T_1$ – кінець часового інтервалу.

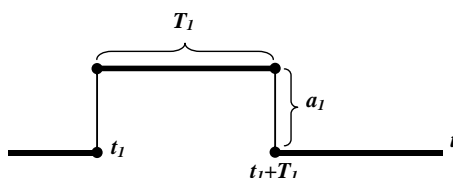


Рисунок 1. Елементарна логіко-часова функція

На рис. 2 наведено можливий варіант монотонної БЛЧФ (а – зростаючої, б – спадної).

Можна показати, що функції другого та третього класів можна подати у вигляді накладання (суперпозиції, логічного додавання) БЛЧФ першого класу.

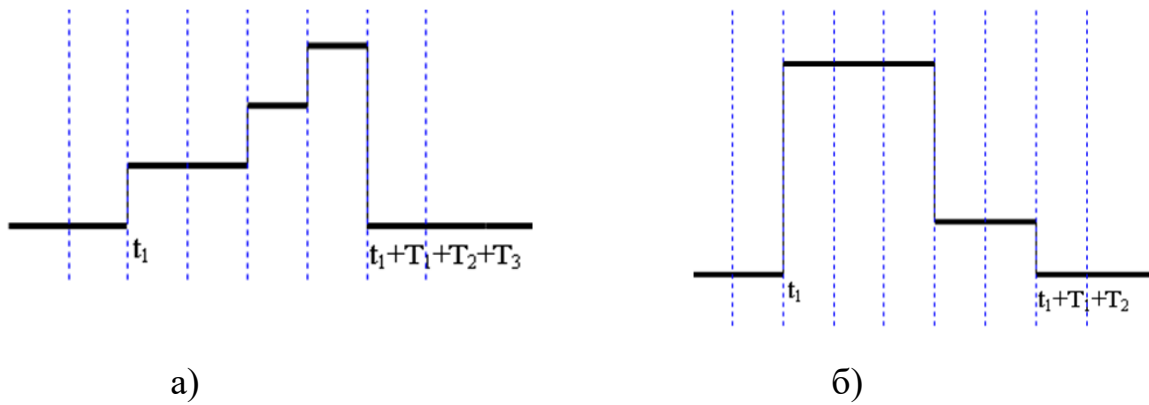


Рисунок 2. Можливі варіанти монотонної ЛЧФ : а) зростаюча ЛЧФ, б) спадна ЛЧФ

У працях [134, 138-141] було досліджено основні логічні операції над багатозначними логіко-часовими функціями (БЛЧФ), поданими в індексній формі, зокрема і операцію нерівнозначності Θ , яку в індексному позначенні можна подати так:

$$\left({}_k x_{t_x}^{T_x} \Theta {}_k y_{t_y}^{T_y} \right) = \mathbf{W}_{i=0}^{T_{\max}-1} \left({}^x a_i \Theta {}^y c_i \right) \Big|_k \left(x \Theta y \right)_{\min(t_x, t_y)}^{T_{\max}}, \quad (2)$$

де W – оператор впорядкування за часом та розбиття значень аргументів БЛЧФ на одиничні Δ -інтервали [140].

На рис. 3 наведено графічні результати операції додавання по модулю 2 або нерівнозначності.

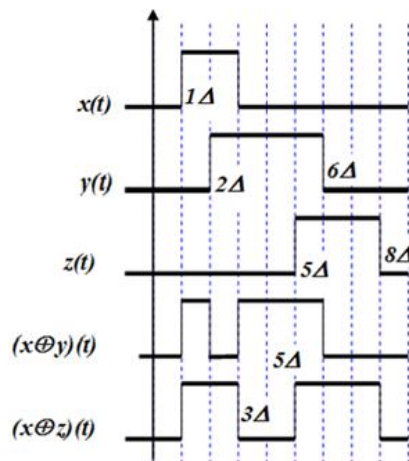


Рисунок 3. Двійкова нерівнозначність

У роботі [136] операцію диференціювання здійснювали графічним методом. Символьний підхід до обчислення похідної виявився надмірно складним, неочевидним і незручним для практичного використання.

Похідна БЛЧФ є також БЛЧФ, що показує величину зміни поточного (в момент t) значення функції відносно будь-якого іншого (в момент $t+s$) попереднього чи наступного значення функції, що віддалене від поточного на s Δ -інтервалів [141].

Похідна БЛЧФ, при $dt = \Delta = 1$ визначається формулою:

$$\left[\frac{dz(t)}{dt} = dz(t)|_{dt=1} = z'(t) = z(t) \ominus z(t+1) \right] \quad (3)$$

В цьому випадку похідна і диференціал співпадають. Можна довести, що похідна суперпозиції (логічної суми) логіко-часових функцій дорівнює суперпозиції (логічній сумі) похідних цих функцій.

Якщо $z(t) = x(t) \oplus y(t)$, де $x(t) = x_{t_x}^{T_x}$ та $y(t) = y_{t_y}^{T_y}$, то похідну можна визначити так:

$$z'(t) = x_{t_x}^{\prime T_x} \oplus y_{t_y}^{\prime T_y}. \quad (4)$$

Зазначимо, що символ « \oplus » позначає суперпозицію часових відрізків (накладання відрізків на одну часову координату), що еквівалентне булевому логічному додаванню n відрізків (або відліків БЛЧФ) $f(t, (t_1, T_1, a_1 \vee t_2, T_2, a_2 \vee \dots \vee t_n, T_n, a_n))$. Фактично, логічне додавання в останній формулі має сенс суперпозиції значущих інтервалів БЛЧФ на часовій осі. Суперпозиція це семантично ширше значення логічної операції «АБО» і враховуючи, що функція «АБО» в k -значній логіці є вибором більшого, то для позначення логічного додавання, як суперпозиції підінтервалів БЛЧФ, доцільно використати інший символ, зокрема такий, як запропоновано автором.

Наприклад, функцію, зображену на рис. 4

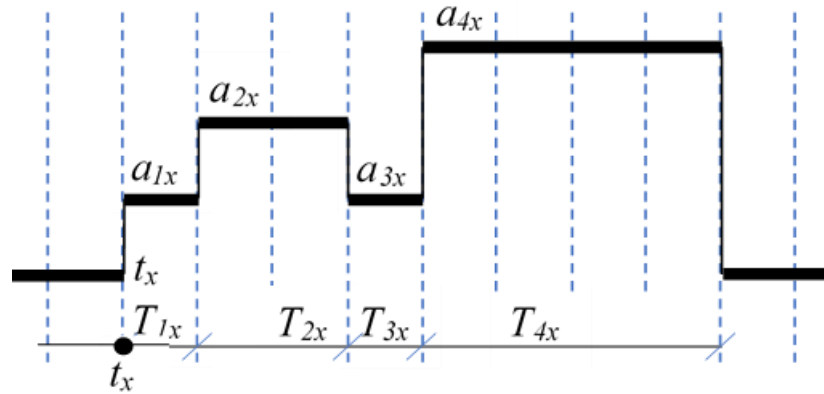


Рисунок 4. Багатозначна логіко-часова функція

аналітично можна подати так:

$$x(t) = a_{1x} x_{t_x}^{T_{1x}} \oplus a_{2x} x_{t_x+T_{1x}}^{T_{2x}} \oplus a_{3x} x_{t_x+T_{1x}+T_{2x}}^{T_{3x}} \oplus a_{4x} x_{t_x+T_{1x}+T_{2x}+T_{3x}}^{T_{4x}} \cdot \quad (5)$$

Багатозначну, k -значну, логіко-часову функцію (БЛЧФ) $x(t)$, для уникнення іншого трактування будемо позначати нижнім попереднім індексом k : ${}_k x(t)$.

В загальному випадку маємо:

$${}_k z(t) = a_1 z_{t_z}^{T_{a_1z}} \oplus a_2 z_{t_z+T_{a_1z}}^{T_{a_2z}} \oplus a_3 z_{t_z+T_{a_1z}+T_{a_2z}}^{T_{a_3z}} \oplus a_N z_{t_z+T_{a_1z}+T_{a_2z}+T_{a_3z}+\dots+T_{a_Nz}}^{T_{a_Nz}}, \quad (6)$$

де $a_i \in \forall \{0, 1, 2, \dots, k-1\}$,

Якщо прийняти, що a може дорівнювати «нулю», тоді інтервал існування БЛЧФ може включати в себе нульові підінтервали в залежності від процесу, що описується.

Далі, підінтервали, де співпадають кінець поточного з початком наступного, можна з'єднати і тоді, використовуючи для k -значних функцій індексний запис, для неперервного інтервалу T_x існування функції отримаємо:

$${}_k x(t) = {}_{a_1^{T_{a_1}}, a_2^{T_{a_2}}, a_3^{T_{a_3}}, a_4^{T_{a_4}}, \dots, a_N^{T_{a_N}}} x_{t_x}^{T_x}, \quad (7)$$

де $T_x = T_{a_1} + T_{a_2} + T_{a_3} + T_{a_4} + \dots + T_{a_N}$

Деякі індекси можна опустити, якщо це не викликає інших трактувань. Крім того, з (7) видно, що розміщення значень a_i , в межах інтервалу існування, прив'язані до початку часового інтервалу через тривалості підінтервалів (6). Іншими словами, значення БЛЧФ повністю задають через відліки a_i , значенням початку функції на часовому інтервалі та тривалості підінтервалів.

Якщо необхідно вказати конкретне значення часових координат для a , записуємо їх нижнім та верхнім часовими індексами, наприклад, ${}_x a_{\max(t_x, t_y)+5}^{T_x}$. Тут x вказує приналежність a конкретній змінній, якщо це не ясно з інших параметрів. Для кращого розуміння деяких виразів замість a можна використати іншу букву. t_x вказує початок інтервалу існування БЛЧФ $x(t)$ і може приймати будь-які цілі додатні чи від'ємні значення. T_x описує тривалість інтервалу існування і при дискретному часі є також цілим додатнім числом.

Зауважимо, що БЛЧФ з від'ємним значенням T_x не існують. Від'ємне значення T_x означає зворотній відлік часу, коли закінчення БЛЧФ настає раніше початку.

Фактично індексний запис тривалості амплітуд a_i , k -значних функцій, разом з початком інтервалу існування t_x , повністю характеризують БЛЧФ.

В індексній формі можна одержати значення похідної логіко-часової функції [141]:

$${}_k z'(t) = \left. W_{t=0}^{T_{\max}-1} (a_t \Theta a_{t+1}) \right| z_{t_z}^{T_{\max}} \quad (8)$$

В формулі (8) використаний зсув вправо (затримка). Таку похідну, що використовує наступні значення функції, назвемо «правою». Відповідно «ліва похідна», з попередніми значеннями, матиме вигляд:

$${}_k z'(t) = W_{t=0}^{T_{\max}-1} (a_t \Theta a_{t-1}) \Big|_{z_{t_z}^{T_{\max}}} \quad (9)$$

Наприклад, для функції ${}_3 x(t) = 1212101021110220 \Big|_{x_{t_x}^{16}}$ маємо відповідно праву ${}_3 x'(t)R = 1111111210012020 \Big|_{x_{t_x}^{16}}$ та ліву ${}_3 x'(t)L = 1111111121001202 \Big|_{x_{t_x}^{16}}$ похідні. Бачимо, що права похідна це зсунута вліво ліва похідна і навпаки.

Графічний варіант БЛЧФ і її похідних представлено на рис. 5.

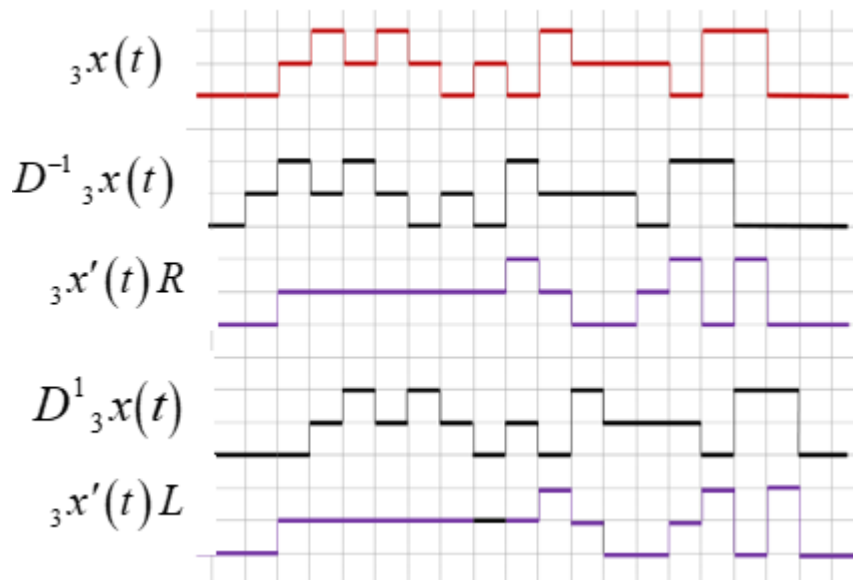


Рисунок 5. Похідна БЛЧФ

Підкреслимо, що операція нерівнозначності при обчисленні похідної, виконується над двома сусідніми розрядами продукуючого слова.

На сьогодні для схмотехнічної реалізації БЛЧФ немає загальноприйнятих k -значних логічних елементів. Найбільш поширеним є підхід, де використовуються двійкові логічні елементи і відповідне двійкове кодування. На такому принципі побудована сучасна флеш пам'ять, коли всередині кристалу використовується k -значність а зовнішній інтерфейс чисто двійковий.

Для прикладу розглянемо знаходження мінімального чи максимального значень із двох функцій при k -значній кон'юнкції чи диз'юнкції. Тут немає сенсу використовувати якісь арифметичні вузли. Простіше синтезувати логічну схему на підставі таблиці істинності, що однозначно задає ці функції.

Нижче розглядається структурна схема операцій кон'юнкції та диз'юнкції чотиризначної (четвіркової) системи з двійковим кодуванням типу «0» – 00; «1» – 01; «2» – 10, «3» – 11 де a, b - вхідні змінні, k - кон'юнкція d - диз'юнкція. Індокси: 1-молодший розряд; 2 -старший.

Синтез схеми зроблено на основі таблиці 1 з відповідною мінімізацією. Кон'юнкція описується виразами:

$$k_2 = b_2 a_2$$

$$k_1 = b_1 a_1 \vee b_2 \bar{a}_2 a_1 \vee \bar{b}_2 b_1 a_2$$

диз'юнкція:

$$d_2 = b_2 \vee a_2 \vee b_1 \bar{a}_1$$

$$d_1 = b_2 b_1 \vee a_2 a_1 \vee \bar{b}_2 a_1$$

Таблиця 1 Таблиця істинності для операцій кон'юнкції та диз'юнкції чотиризначної логіки

	b_2	b_1	a_2	a_1	k_2	k_1	d_2	d_1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	0	0	0	0	1	0
5	0	1	0	1	0	1	0	1
6	0	1	1	0	0	1	1	0
7	0	1	1	1	0	1	1	1
8	1	0	0	0	0	0	1	0
9	1	0	0	1	0	1	1	0
10	1	0	1	0	1	0	1	0
11	1	0	1	1	1	0	1	1
12	1	1	0	0	0	0	1	1
13	1	1	0	1	0	1	1	1
14	1	1	1	0	1	0	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1

Відповідні функціональні схеми на два входи і їх умовне позначення для кон'юнкції та диз'юнкції представлені на рис.6 та рис. 7 відповідно.

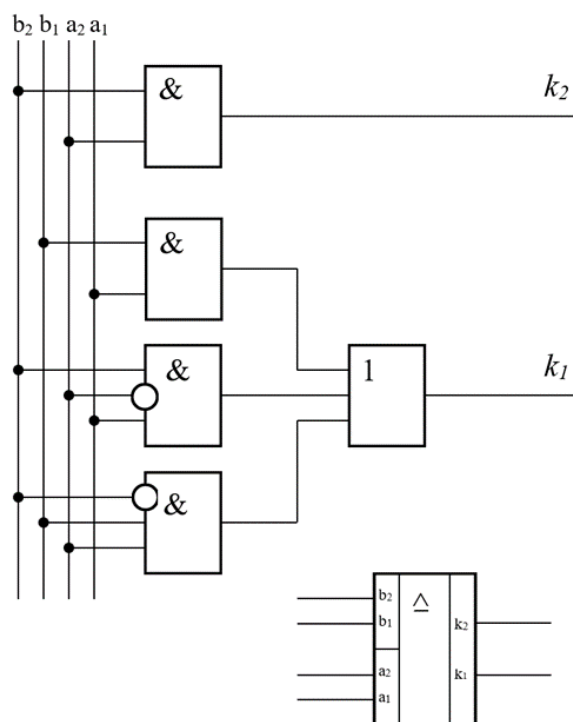


Рисунок 6. Функціональна схема четвіркової кон'юнкції на два четвіркових входи

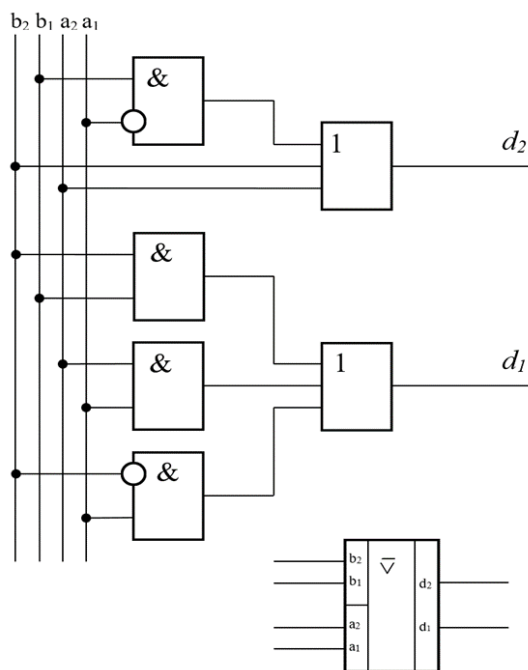


Рисунок 7. Функціональна схема четвіркової диз'юнкції на два четвіркових входи

Аналогічно можна розробити схеми і для інших операцій k -значної логіки. Для побудови схем з більшим числом входів використаємо пірамідальну структуру (див. рис.8), робота якої не потребує пояснень.

Для перетворення схеми рис.8 на три входи видаляємо верхню схему першого рівня на два входи, а входи b_1 та b_2 другого рівня відповідно стають входами z_1 і z_2 першого рівня. Так само будується і диз'юнкція на більше входів.

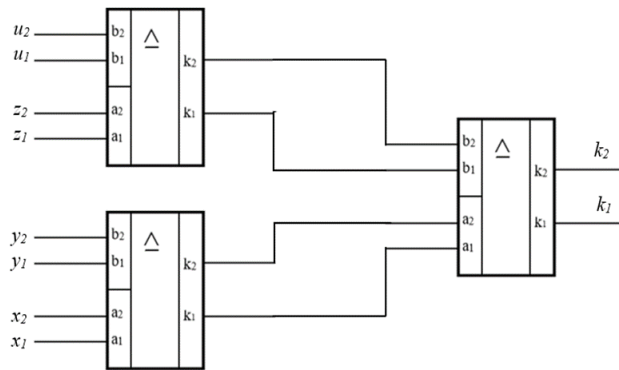


Рисунок 8. Функціональна схема кон'юнкції на чотири входи

На рис. 9 подано можливий варіант функціональної схеми додавання за модулем 4.

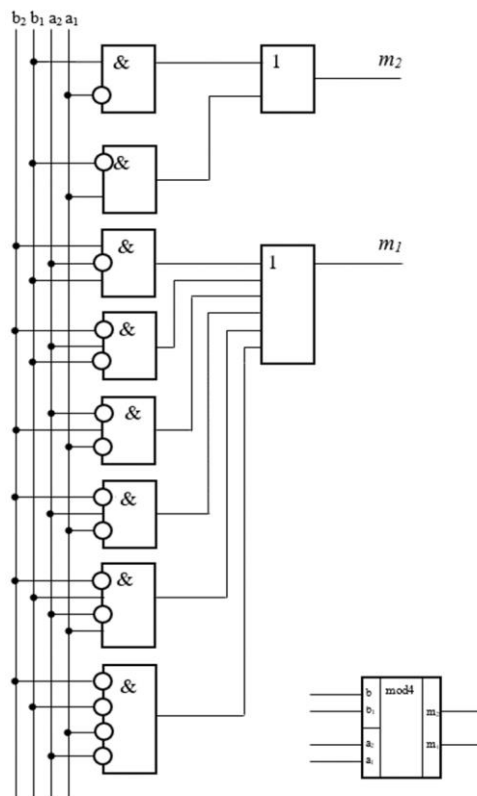


Рисунок 9. Функціональна схема додавання по mod 4

Аналогічно можна побудувати і схеми інших операцій. Окремі логічні вузли здебільшого проектуються на підставі логічних рівнянь і з'єднуються в систему на підставі алгоритму роботи пристрою в цілому.

Для прикладу, розглянемо можливий варіант рівняння для розробки схеми, що визначає «фронт» БЛЧФ (фронт – це характеристика сигналу, а у нашому випадку – логічні змінні, тому «фронт» в лапках).

Нехай маємо БЛЧФ $0(x_t^T)_0$, що задана на неперервному інтервалі існування. Продукуюче слова такої функції може включати в довільному порядку всі значення від 1 до $k-1$. Нас цікавить лише логічне значення a_0 . Для цього потрібно з вхідної функції $0(x_t^T)_0$ створити допоміжну константу $(k-1)$ з часовими координатами t, T . Досягти це, з використанням комбінації широковідомих k -значних функцій авторові не вдалося, через проблему нуля за межами існування функції.

Найпростіше тут ввести функцію формування константи (позначимо її символом «й»), яка на вхідних значеннях нуль формує також нуль, а на всіх вхідних значення від 1 до $(k-1)$ формує значення $(k-1)$. Остання операція дасть $0(Const(k-1)_t^T)_0$. Кон'юнкція цієї константи і її інверсії Лукасевича, затриманої на один Δ -інтервал, дає нам шаблон $(k-1)_t^1$ для визначення «фронт» БЛЧФ шляхом кон'юнкції шаблону і вихідної функції. Остаточно маємо:

$$a_0|x_t^1 = (йx \triangle D йx) \triangle x|x_t^1 \quad (10)$$

Операція формування константи $0(Const(k-1)_t^T)_0$ для четвіркової функції на базі двійкових елементів і кодування, викладеного раніше, описується формулою $k_{i1} = k_{i2} = a_{i1} \vee a_{i2}$. Повна схемотехнічна реалізація формули (10) не

викликає якихось ускладнень. Затримка на один інтервал може бути реалізована на бінарних D-тригерах або іншим способом.

На рис. 7 показані діаграми роботи алгоритму.

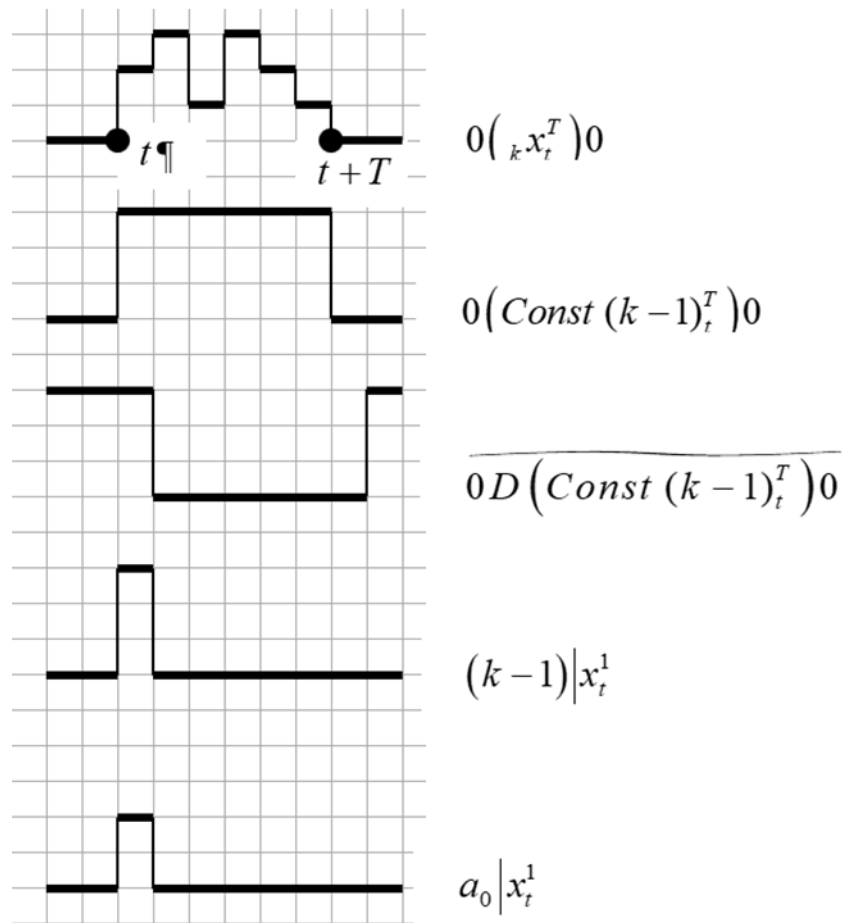


Рисунок 10. Виділення переднього «фронту» БЛЧФ

Рівняння (10) дозволяє виділити і задній «фронт» БЛЧФ.

$$a_{T-1}|x_{t+T}^1 = (D \text{ й} x \triangle \text{ й} x) \triangle x |x_{t+T}^1 \quad (11)$$

Подібні алгоритми можуть бути використані при аналізі роботи електронних пристроїв.

Можливі інші рівняння і схеми типу: «сигнал x був», «сигналу x не було», «сигнал x має тривалість m » і т. п. Функція «й» фактично означає: «був якийсь сигнал».

На рис.12 представлена електрична схема інтегратора з функцією диференціювання, розробленого з використанням програмного пакету NI Multisim 14.0 на віртуальних компонентах, що реалізує формулу інтегралу отриману шляхом аналізу і узагальнення рис.11.

$$\int \left(a_i x_0^{t_x} \oplus_k a_j x_{t_x}^\infty \right) dt = \left(\bigoplus_{r=0}^{(t_x/2)-1} a_i^0 x_{(t_x-2)-2r}^2 \oplus_k \bigoplus_{r=0}^{\infty} a_j^0 x_{t_x+2r}^2 \right) \ominus K, \quad (12)$$

де $r \in 0, 1, 2, \dots, n$ та виконується одна або обидві умови $(a_j + a_i) \leq (k - 1)$, $(a_j - a_i) \geq 0$, $a_i, a_j \in \{0, 1, \dots, (k - 1)\}$

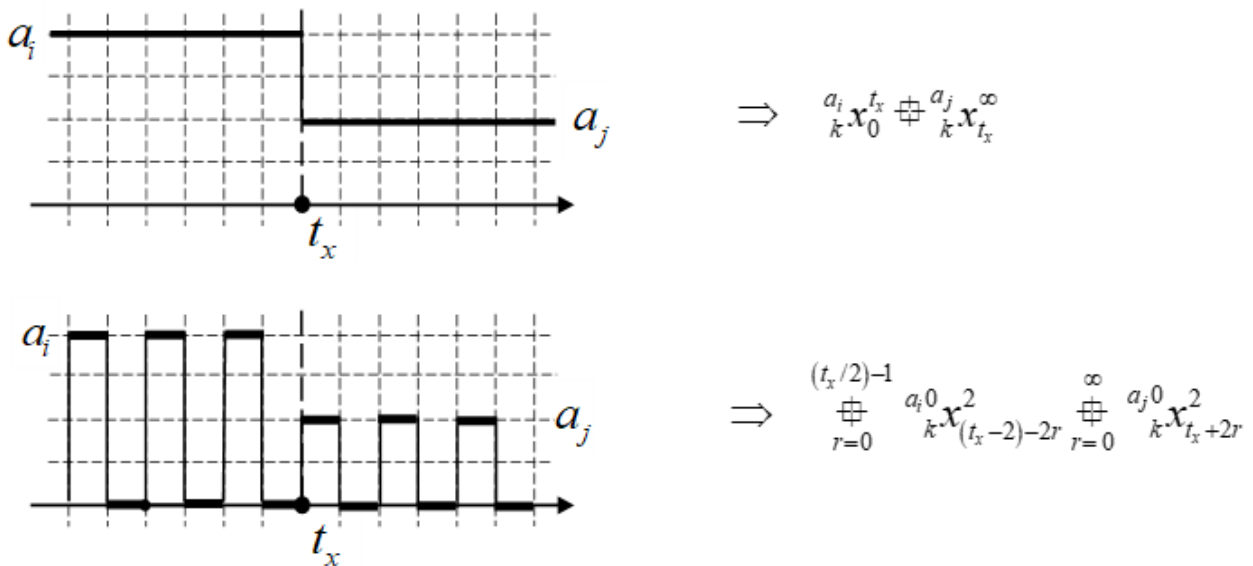


Рисунок 11. Первісна переходу (стрибка значення) констант

та формулу похідної з рахуванням особливостей бінарних ЛЧФ. В наведеній схемі (див. рис. 12) блок перемикачів $S1$ служить для установки параметрів інтервалу існування БЛЧФ. Регістр зсуву $U5$ $U6$ $U1$ формує власне ЛЧФ. Модуль нерівнозначності $U2$ та тригер $U7$, що сумують по $\text{mod}2$ поточне і зсунуте на одиницю значення вихідної функції ${}_2x_t^T$, формують похідну. Первісна формується модулем нерівнозначності $U9$ та тригером $U8$, сумуючи поточне значення функції і попереднє значення первісної.

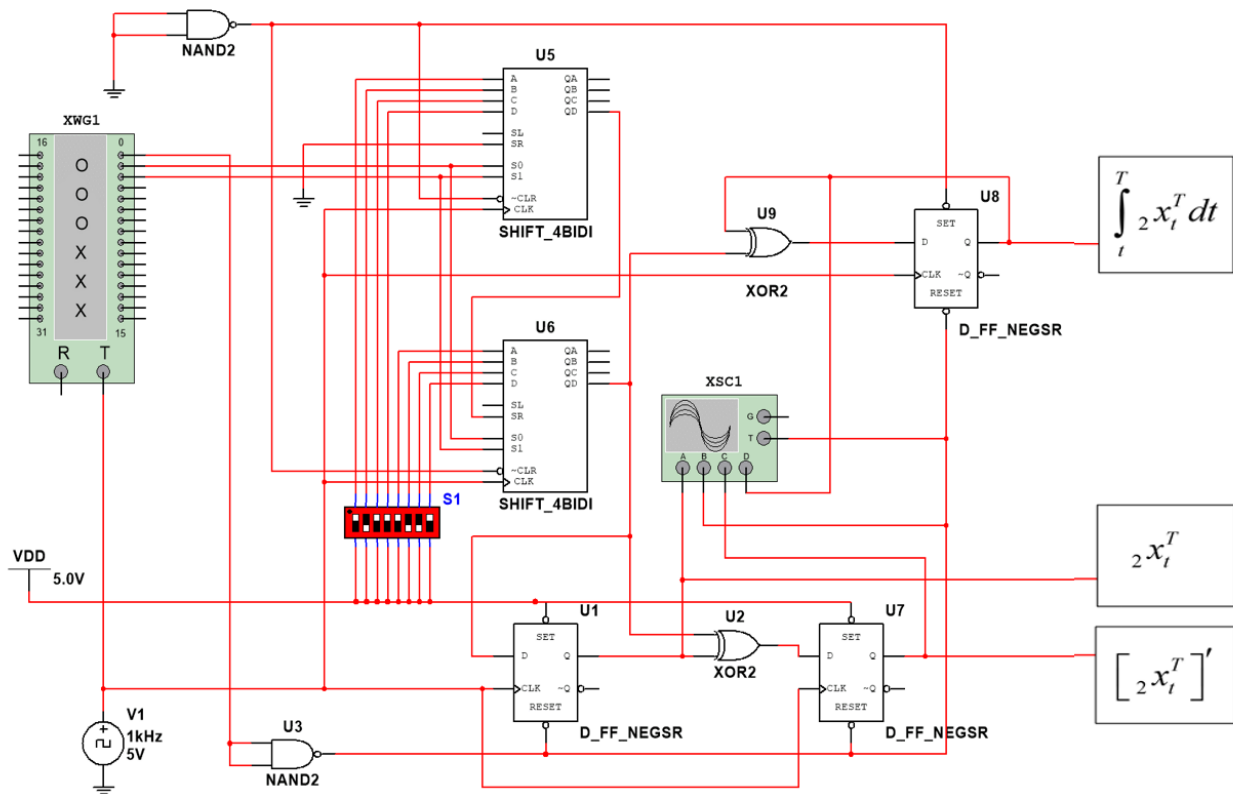


Рисунок 12. Двійковий інтегратор-диференціатор

Генератор слів XWG1 забезпечує формування управляючих сигналів для скидання схеми в вихідне положення, запису в регістр зсуву параметрів інтервалу існування функції ${}_2x_t^T = 10011101|_2x_t^T$, включення режиму зсуву. Призначення решти елементів і зав'язків зрозуміла зі схеми.

Моделювання схеми k -значної логіки, наприклад, трійкової можливе в базисі бінарних логічних елементів, на базі яких розробляються потрібні трійкові логічні елементи, тригери, регістри і т. п. Часова діаграма роботи бінарного інтегратора подана на рис. 13.

Враховуючи думку авторитетного американського вченого Дональда Кнута [142, 143] який сказав, що «заміна двійкового тригера на трійковий в один прекрасний день обов'язково станеться», все ж дещо зупинимось на трійковій схемотехніці.

Трійкові елементи та вузли можуть будуватись як з використанням різних кодових систем так і з використанням різних фізичних принципів роботи елементів.

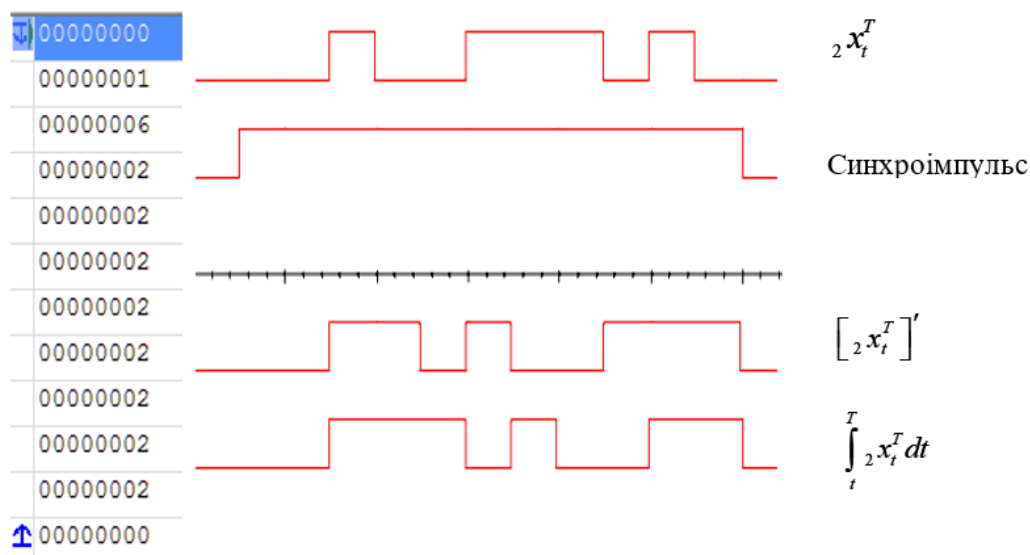


Рисунок 13. Часова діаграма роботи бінарного інтегратора

В даній роботі нас цікавлять трійкові вузли, що використовують звичайний двійковий код. Візьмемо за основу трійковий тригер «ТТДЛ-22» (ТТВЛ-22) на базі двійкових логічних елементів і коду 0, 1, 2 (00, 01, 10) англійською «zero», «one», «two» або скорочено – ZOT (можливо RST краще).

Установка стану виходів здійснюється за таблицею переходів (табл.2).

Таблиця 2. Таблиця переходів

Q_2	Q_1	Q_2^{*+1}	Q_1^{*+1}	S_2	S_1
Q_2	Q_1	0	1	0	1
Q_2	Q_1	1	0	1	0
Q_2	Q_1	0	0	1	1
Q_2	Q_1	Q_2	Q_1	0	0

Схема тригера з мінімальною вхідною логікою, осцилограми його роботи представлена на рис. 14 та рис. 15 та таблиця генератора слів (табл. 3).

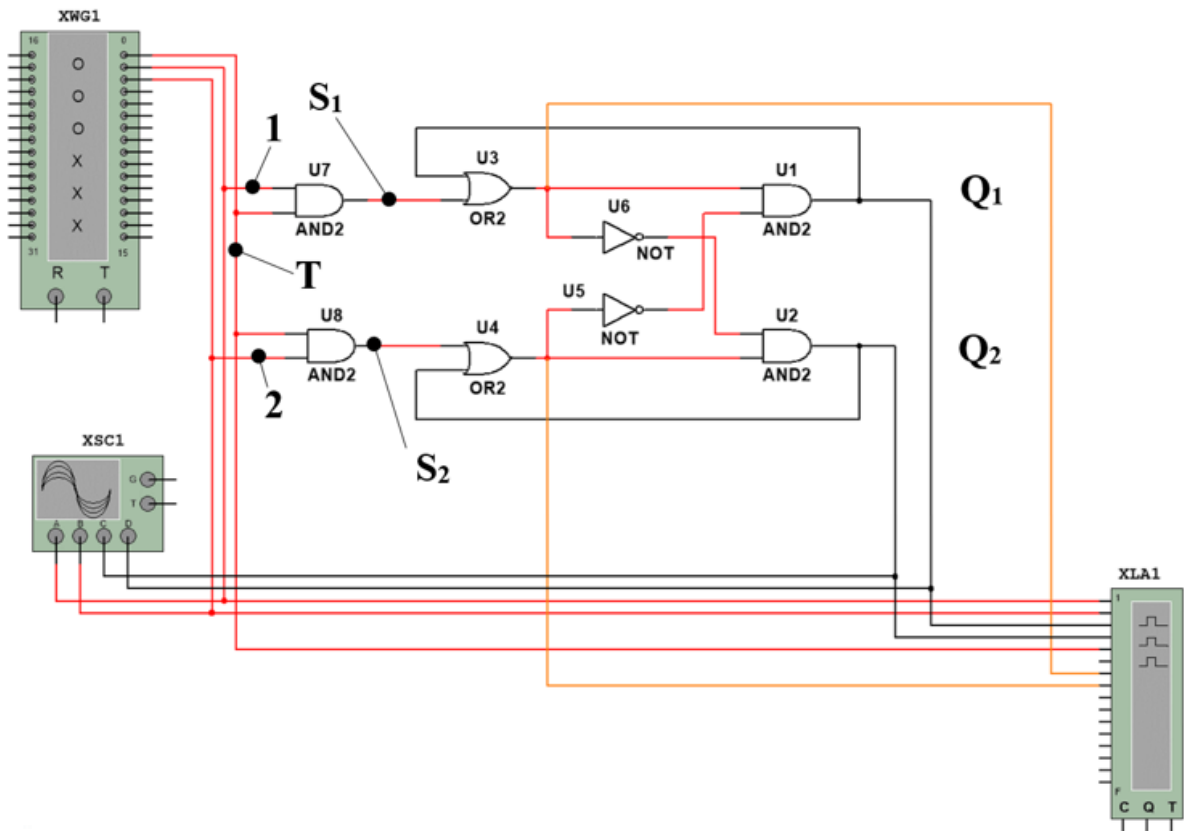


Рисунок 14. Трійковий тригер

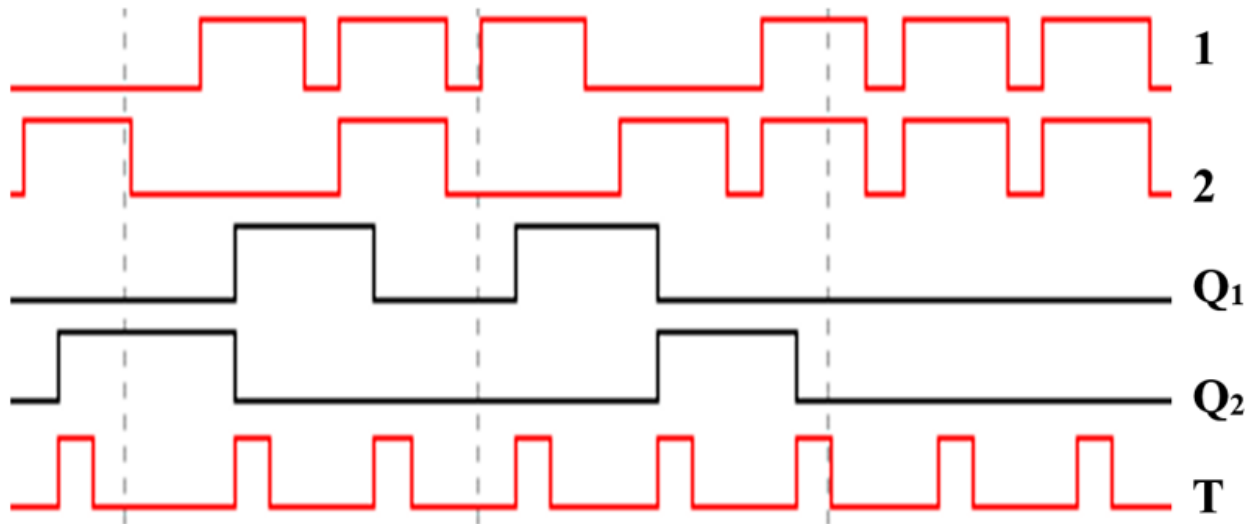


Рисунок 15. Діаграма роботи трійкового тригера

Таблиця 3. Діаграма роботи трійкового тригера

<u>Data:</u>	00000006	00000000
00000000	00000000	00000006
00000004	00000002	00000007
00000005	00000003	00000006
00000004	00000002	00000000
00000000	00000000	00000006
00000000	00000004	00000007
00000002	00000005	00000006
00000003	00000004	<u>Initial:</u>
00000002	00000000	0000
00000000	00000006	<u>Final:</u>
00000006	00000007	0020
00000007	00000006	

Це не єдиний трійковий тригер на двійкових елементах. В контексті багатозначних ЛЧФ внутрішня будова k -значного тригера не принципова. Але він має використовувати двійкові значення стану: 00, 01, 10. Згаданий трійковий тригер (ЗТ) вперше був використаний в 1968 в трійковій ЕВМ «Сетунь», що мала українське коріння. Зауважимо, що в трійковій системі не біти, а тріти і відповідно не тригер, а трітер. Тож і для нашого випадку будемо використовувати термін трітер.

Трійковий тригер, що працює по фронту імпульсу найпростіше побудувати, наприклад, для регістрів зсуву або лічильників на базі ТТДЛ-22 по схемі M-S (Master-Slave), синтезувавши по таблиці переходів лічильного трітера M потрібні входні сигнали S_1 та S_2 . Тоді маємо: $S_1^M = Q_1 \vee Q_2$, $S_2^M = \bar{Q}_2$. Інвертори U15, U16 забезпечують інверсну передачу стану M - тригера в S - тригер, через запис нуля двома одиницями. Діаграми і схеми зображено на

рис. 16 та рис. 17. Далі будемо використовувати тритери побудовані по схемі М-
S, робота яких більш зрозуміла.

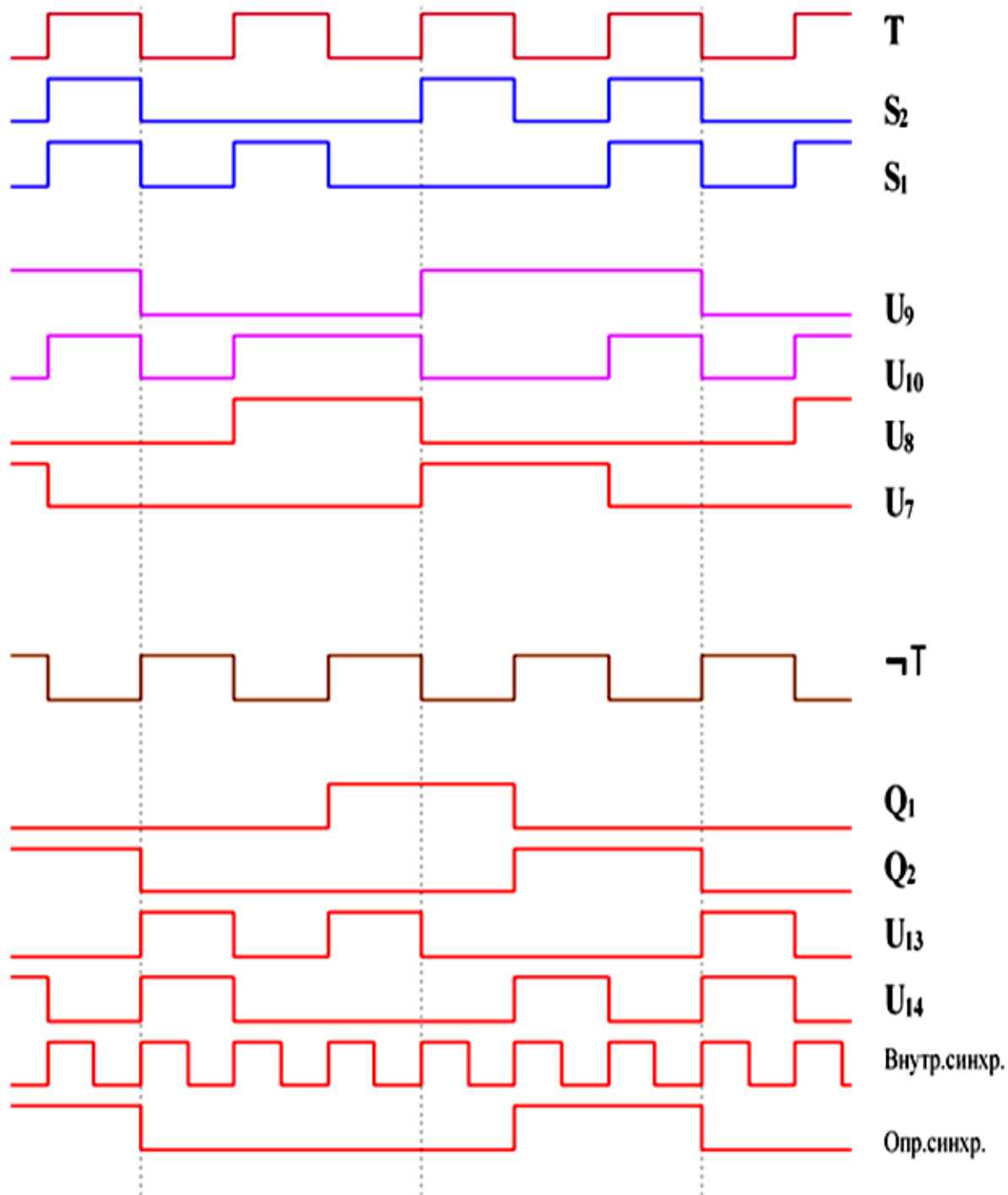


Рисунок 16. Діаграма роботи T – трітера

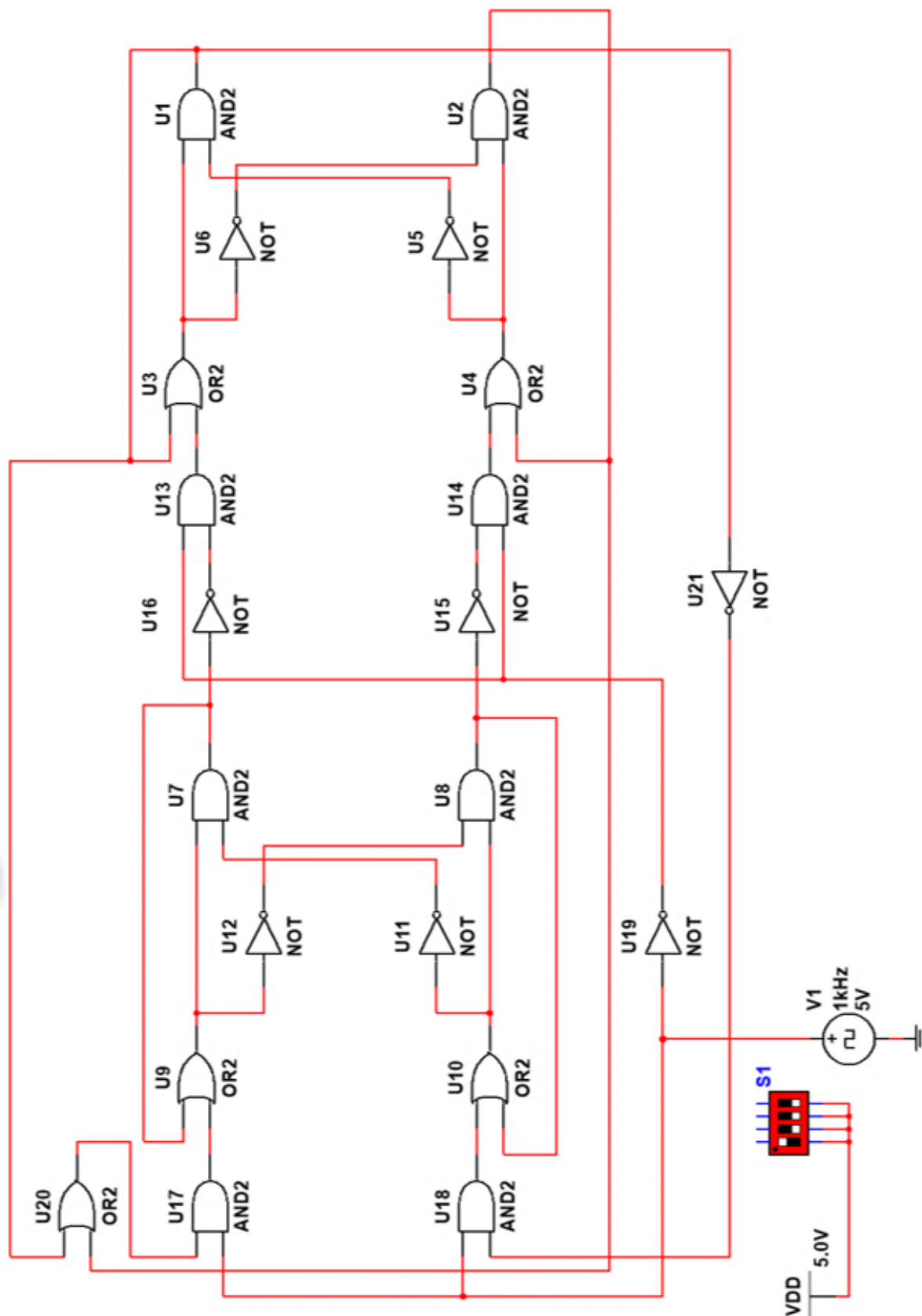


Рисунок 17. Схема *T* – тритера

Розглянемо синтез і моделювання тризначної схеми «НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ МІНУС» та «НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ ПЛЮС», що є основою операції інтегрування.

Таблиця 4 Таблиця істинності НЕРІВНОЗНАЧНОСТЬ МІНУС

x_2	x_1	y_2	y_1	n_2	n_1	\bar{i}
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	#	#	1
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	0	0

При цьому:

$$n_1 = x_1 \bar{y}_1 \vee \bar{x}_1 y_1$$

$$n_2 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 y_2 \vee x_2 \bar{y}_2 \bar{y}_1$$

$\bar{i} = x_1 y_2$ – ознака не інтегровності, що введена як окремий вихід схеми.

При синтезі схеми символ «#» було за замовчуванням замінено нулями (необхідність такого підходу продиктована особливістю схемної реалізації інтегрування на двійкових елементах). Фактично, нульовими значеннями первісної входна функція розбивається на підінтервали від одного значення не інтегровності до наступного, початковою умовою «0».

Таку функцію назвемо умовно або частково інтегровною, а первісну– доповненою або доповненою до початкової умови. В даному випадку доповненою до «0».

В загальному випадку така заміна можлива на будь-яке допустиме значення БЛЧФ, як на початкову умову інтегрування. І нарешті, за необхідності, можливий синтез схеми, де заміна # на необхідні початкові умови може задаватись.

Наприклад, четвіркова функція

$$f(t) = 10213021132001331032011220322232 \Big|_4 f_t^{32}$$

має подвійні значення на наборах 1-1 та 2-1, що теоретично може для цієї функції сформулювати не менше 32 доповнених первісних. Звичайно розглядати всі варіанти не доцільно, а розглянемо лише варіанти

$$\int_0^{31} f_t^{32} \Big|_{\bar{p}}^{\oplus+} dt \text{ та } \int_0^{31} f_t^{32} \Big|_{\bar{p}}^{\oplus-} dt,$$

тут

- $\oplus+$ та $\oplus-$ означають, що при подвійному значенні первісної за результат приймаємо значення суми (більшого) чи різниці (меншого) відповідно;
- \bar{p} - тут ознака доповненої первісної.

На рис.18 показані вихідна функція $f(t)$, первісна $\int_0^{31} f_t^{32} dt$ та первісні

$$\int_0^{31} f_t^{32} \Big|_{\bar{p}}^{\oplus+} dt \text{ і } \int_0^{31} f_t^{32} \Big|_{\bar{p}}^{\oplus-} dt. \text{ При цьому великі цифри – подвійні значення; заливка –}$$

на цьому інтервалі функція не інтегровна і значення первісною прийнято за нуль.

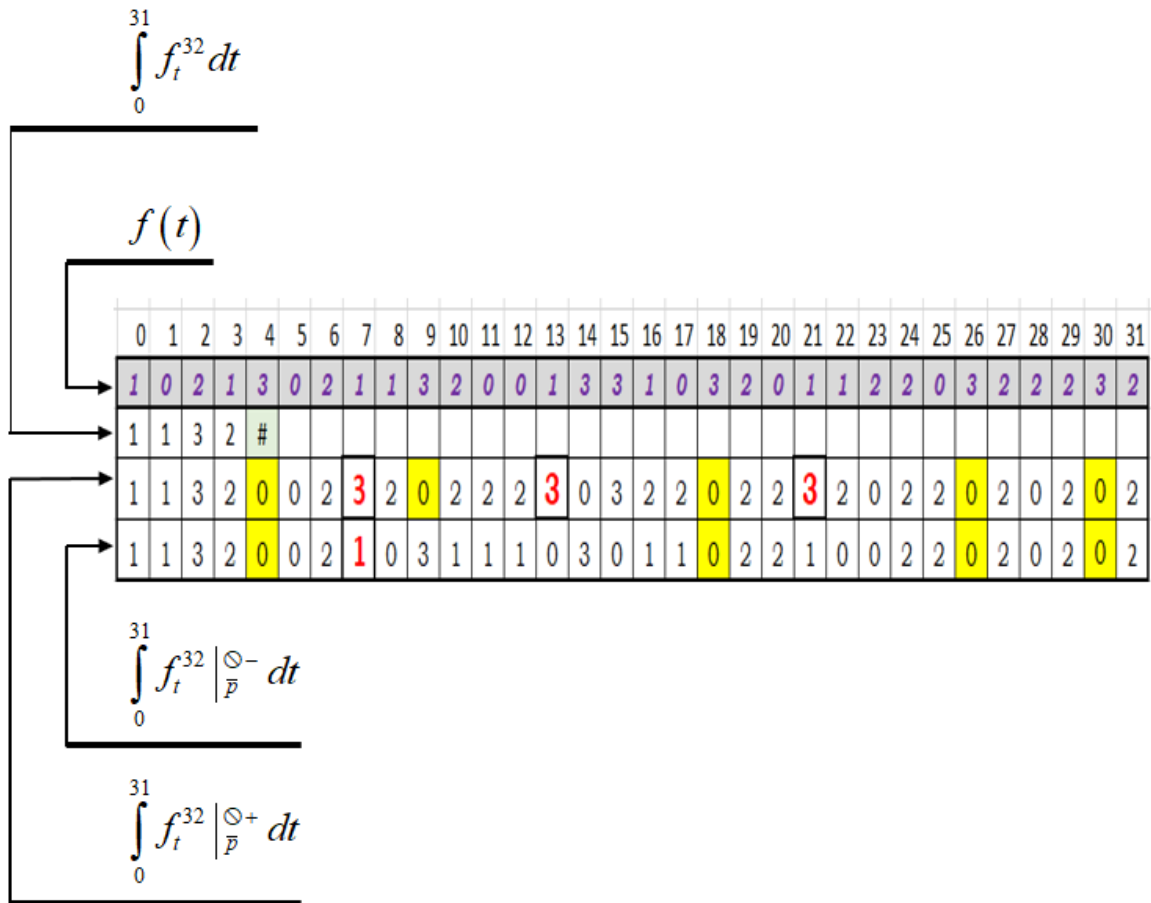


Рисунок 18. Доповнені первісні з початковою умовою «0»

Розглянемо схему \ominus – (див. рис.19) та діаграму її роботи (див. рис.20).

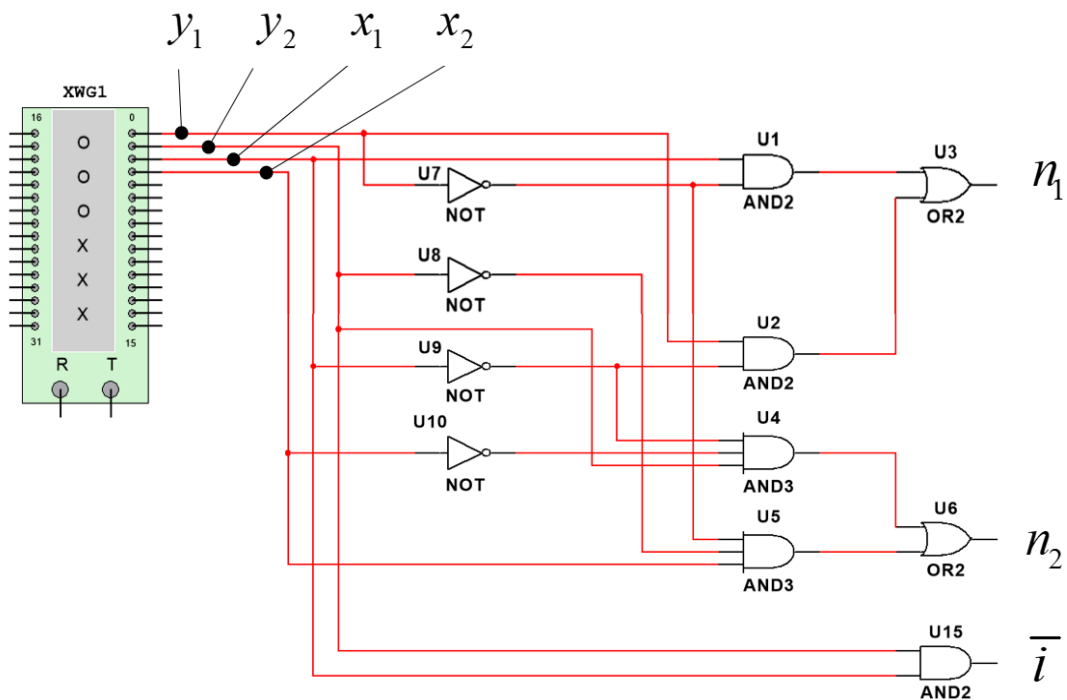


Рисунок 19. Трійкова двофазна схема НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ МІНУС

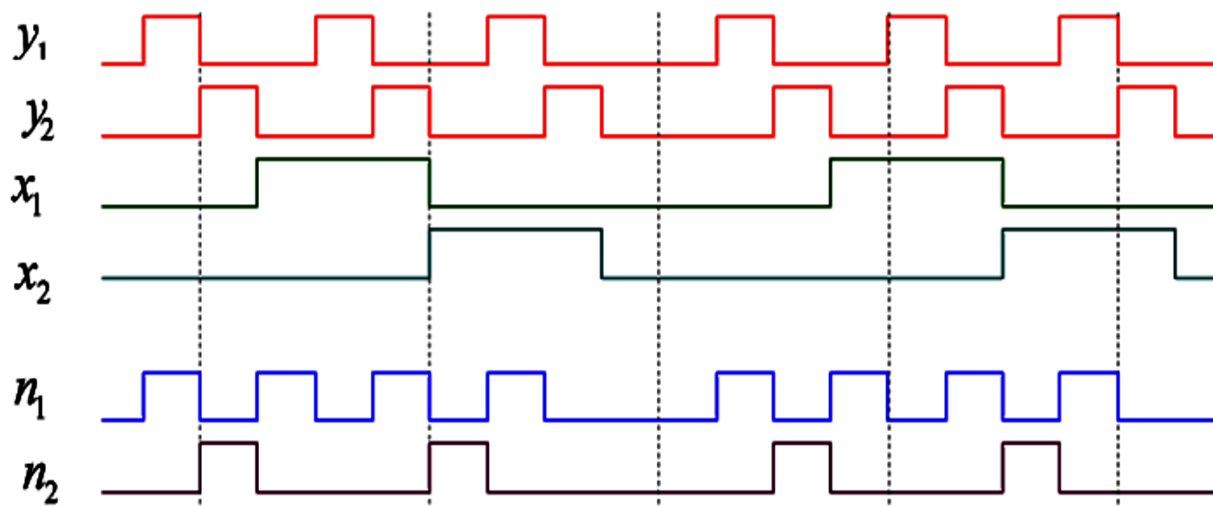


Рисунок 20. Діаграма роботи двофазної схеми НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ МІНУС

Для більш ефективного реального використання цієї схеми варто додати вихідні вентиля для зчитування інформації.

Таблиця 5. Таблиця істинності та логічні рівняння схеми НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ+

x_2	x_1	y_2	y_1	n_2	n_1	\bar{i}
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	#	#	1
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	0	0

$$n_1^+ = x_1 \bar{y}_1 \bar{y}_2 \vee \bar{x}_1 y_1$$

$$n_2^+ = \bar{x}_2 y_1 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 y_2 \vee x_2 \bar{y}_2 \bar{y}_1$$

\bar{i} = $x_1 y_2$ - ознака не інтегрованої функції

Звернемо увагу, що результат операції $\ominus+$, який позначений решіткою, як і результат $\ominus-$, робить ці операції не комутативними, а для синтезу схем функцій n_1, n_2 цей набір не використовуємо, вважаючи його значення нулем.

Іншими словами пари входів x_1, x_2 та входи y_1, y_2 не рівнозначні.

В рівняннях верхній індекс «-» та «+» вказують на приналежність рівняння до відповідної НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ.

Розглянемо схеми нерівнозначності для чотиризначних ЛЧФ, в яких будемо використовувати двійкове кодування і звичайні двійкові логічні елементи.

Для цього спочатку побудуємо таблиці Келі для операцій додавання та віднімання.

Таблиця 6 Сума

+	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	2	3	4
2	2	3	4	5
3	3	4	5	6

Таблиця 7 Різниця

-	0	1	2	3
0	0	-1	-2	-3
1	1	0	-1	-2
2	2	1	0	-1
3	3	2	1	0

Далі будемо об'єднану таблицю.

Таблиця 8 Об'єднана

⊖	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	0 ∇ 2	3	-2:4
2	2	1 ∇ 3	0	-1:5
3	3	2	1	0

Аналіз табл.8 вказує недопустимі значення функції: -2:4 та -1:5 при вхідних парах значень 1:3 та 2:3. Це означає, що при таких вхідних значеннях чотиризначна ЛЧФ є не інтегрованою (скоріше частково або умовно інтегрованою).

Крім того, при вхідних наборах 1-1 та 2-1 маємо два значення функції, що породжують чотири правила інтегрування \ominus_{01} , \ominus_{03} , \ominus_{21} , \ominus_{23} (див. табл. 9-12).

Всі ці операції не комутативні і при використанні схем для їх реалізації входи не взаємозамінні. В інтеграторі на входи x_1, x_2 будемо подавати p_{i-1} .

Таблиця 9. \ominus_{01}

\ominus_{01}	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	0	3	#
2	2	1	0	#
3	3	2	1	0

Таблиця 10. \ominus_{03}

\ominus_{03}	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	0	3	#
2	2	3	0	#
3	3	2	1	0

Таблиця 11. \ominus_{21}

\ominus_{21}	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	2	3	#
2	2	1	0	#
3	3	2	1	0

Таблиця 12. \ominus_{23}

\ominus_{23}	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	2	3	#
2	2	3	0	#
3	3	2	1	0

На основі цих таблиць будемо таблицю істинності (див. табл.13) і через карти Карно записуємо логічні рівняння виходів схем.

$$n_2^{01} = P_2 P_1 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_2 \vee P_2 \bar{A}_2 \bar{A}_1 \vee \bar{P}_2 \bar{A}_1 A_2$$

$$n_1^{01} = P_1 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_1 \vee \bar{P}_1 \bar{A}_2 A_1$$

$$n_2^{23} = P_2 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_2 \vee \bar{P}_2 A_2 \bar{A}_1 \vee P_1 \bar{A}_2 A_1$$

$$n_1^{23} = P_1 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_1 \vee \bar{P}_1 \bar{A}_2 A_1$$

$$n_2^{03} = P_2 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_2 \vee \bar{P}_2 A_2 \bar{A}_1 \vee \bar{P}_1 A_2 \bar{A}_1$$

$$n_1^{03} = P_1 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_1 \vee \bar{P}_1 \bar{A}_2 A_1$$

$$n_2^{21} = P_2 P_1 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_2 \vee \bar{P}_2 \bar{A}_2 \bar{A}_1 \vee P_1 \bar{A}_2 A_1$$

$$n_1^{21} = P_1 \bar{A}_2 \vee \bar{P}_2 \bar{P}_1 A_1 \vee \bar{P}_1 \bar{A}_2 A_1$$

$$\bar{i} = P_2 \bar{P}_1 A_2 A_1 \vee \bar{P}_2 P_1 A_2 A_1$$

Заслугує уваги те, що перший розряд функції n_i однаковий для всіх схем. Побудова такої комбінаційної схеми для сучасних технологій є простою задачею. Більше того, при інтегральному виконанні схеми не потрібна і мінімізація логічних рівнянь.

Таблиця 13. Таблиця істинності

	P ₂	P ₁	A ₂	A ₁	n ₂ ⁰¹	n ₁ ⁰¹	n ₂ ²³	n ₁ ²³	n ₂ ⁰³	n ₁ ⁰³	n ₂ ²¹	n ₁ ²¹
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
6	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	#	#	#	#	#	#	#	#
8	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
9	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	1	1	#	#	#	#	#	#	#	#
12	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
14	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
15	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Отримані схеми вимагають зауваження в частині не інтегровності вхідних функцій, наприклад для четвіркових наборів 7 та 11 (6 для трійкового набору). Раніше відмічалось, що при синтезі схем значення функції « \ominus » на цих наборах позначене символом «#» і дорівнює нулю. Це означає, що на виході схеми інтегрування в ці моменти також буде нуль. Не залежно від фізичних принципів роботи логічних елементів і k -значності на виході схеми в момент не інтегровності завжди буде одне із k значень БЛЧФ.

В нашому випадку для бінарної логіки одним із $k \in \{0, 1\}$. Саме схемотехнічна наявність конкретного значення сигналу із множини допустимих при «#» вимагає не інтегровності визначати окремим сигналом, наприклад \bar{i} . У випадку надлишково двійково-кодованих k -значних функцій можуть бути недопустимі значення функції, наприклад значення три для трійкової функції або 5, 6 та 7 для п'ятіркової і т. п. Тоді такі значення можна використати як \bar{i} . В нашому випадку нуль допустиме значення первісної і тоді $\bar{i} = 1$.

Якщо значення \bar{i} ігнорувати, то отримаємо первісну умовно інтегрованої функції. Таким чином, нульовими значеннями первісної при $\bar{i} = 1$ вхідна функція розбивається на підінтервали з початковою умовою «0». При інших значеннях первісної на не інтегровному наборі отримаємо і інші початкові умови на вхідних інтервалах. Будемо вважати, що первісна на не інтегровних наборах завжди дорівнює нулю, якщо окремо не вказано інше значення.

Розглянемо трійковий інтегратор (див. рис. 21) з каналом диференціювання. Основу схеми складає чотирирозрядний трійковий регістр зсуву, що побудований на ZOT-трітерах НВ1-НВ4 і доповнений трітером НВ5. Передача інформації між розрядами відбувається по спаду вхідного сигналу С «прямими» входами S1 та S2. Цим же сигналом початкове вхідне слово з перимикача S3 записується по додаткових входах S1A і S2A.

На «прямих» входах нуль записується комбінацією 00, а на додаткових – комбінацією 11.

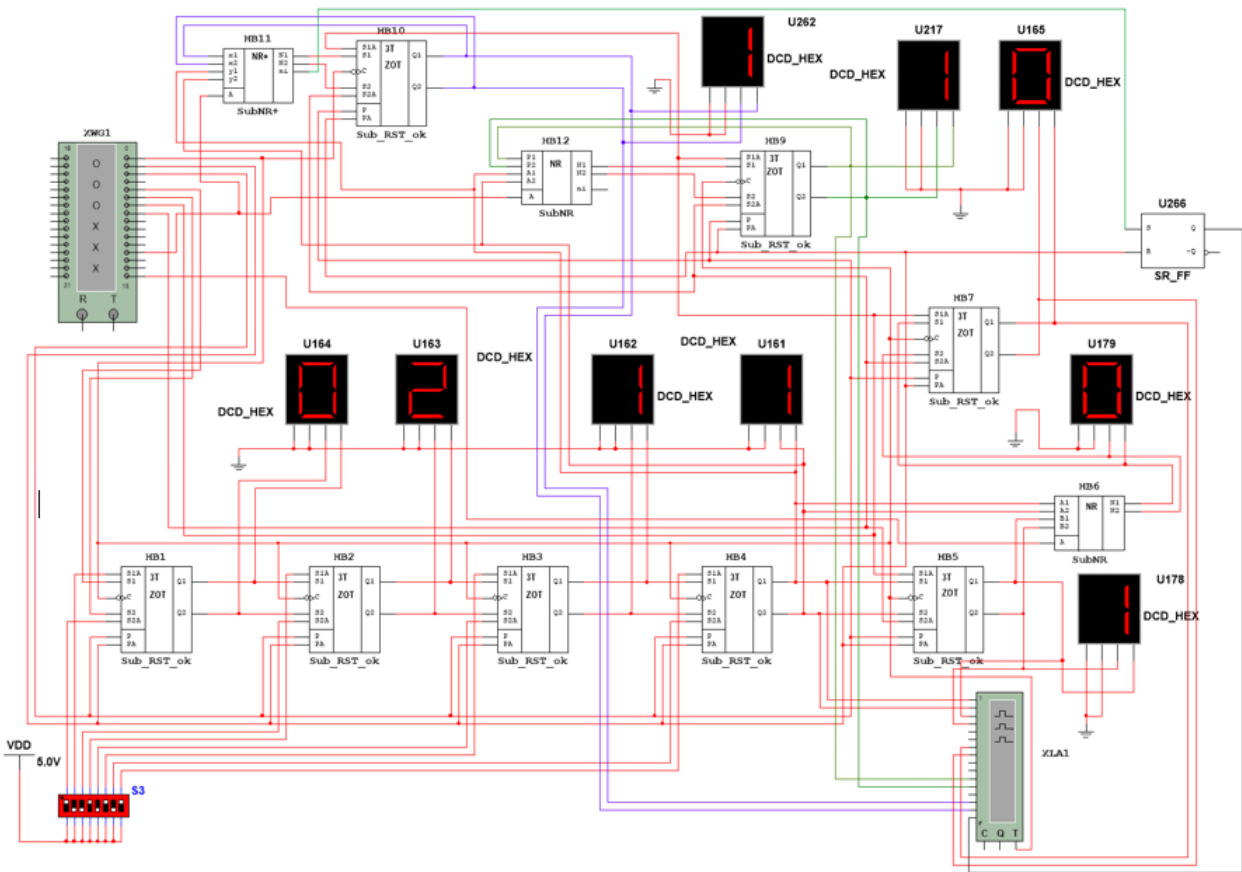


Рисунок 21. Схема трійкового інтегратора

Вхідне слово задається лінійкою перемикачів S4. Відповідно зі схемою трітера для запису нуля на ці входи потрібно подати одиниці. Запис вихідного слова і його зсув в регістрі керуються потенціалами на входах PA та P.

Запис нулів при зсуві в старший розряд забезпечується генератором слів XWG1 (див. табл. 14). Похідна вхідного слова формується схемою нерівнозначності HB6, яка стробується сигналом A і потім записується в трітер HB7. З його виходу похідна в послідовному коді може передаватись далі для використання.

Первісна через НЕРІВНОЗНАЧНІСТЬ– формується схемою нерівнозначності HB12 і трітером HB9, що охоплені зворотним зв'язком $p_i = p_{i-1} \ominus a_i$.

Первісна через НЕРІВНОЗНАЧНІСТЬ+ формується елементами HB10, HB11 за формулою $p_i = p_{i-1} \ominus + a_i$.

Ознака того, що БЛЧФ не інтегрована формується елементом HB11 ($\Theta+$) та тригером U266 (SR-FF) за формулою $(p_{i-1}\Theta + a_i) = \#$.

Шістнадцятирічні індикатори зручно використовувати при покроковому аналізі роботи схеми. Вся робота схеми керується генератором слів.

Таблиця 14. Генератор слів XWG1

<u>Data:</u>	00009004
00000000	00008004
000000CA	00008005
000000CB	00008004
000000CA	00000004
00009004	00000005
00009005	00000004
00009004	00000004
00009004	00000005
00009005	00000004
00009004	00000004
00009004	00000005
00009005	00000004
00009004	<u>Initial:</u>
00009004	0000
00009005	<u>Final:</u>
	001B

На часовій діаграмі (див. рис. 22) показані три послідовності вхідних слів: 1021, 1102 та 2112.

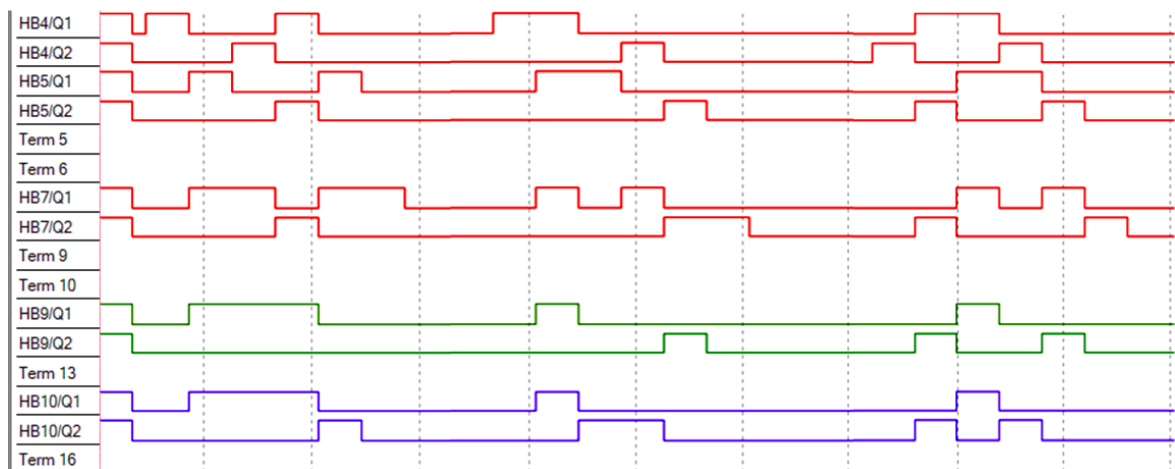


Рисунок 22. Часові діаграми трійкового інтегратора

Вихідні сигнали різних елементів схеми записуються логічним аналізатором XLA1 та представлені нижче. Їх зміст зрозумілий по позначенню виходів на схемі.

Перемикач S3 задає вхідне слово з молодшим розрядом справа. Зсув в регістрі організований також вправо. Відповідно на часовій діаграмі перший розряд зліва.

В подальшому, результати інтегрування та диференціювання БЛЧФ можна записати в регістри зсуву для отримання паралельного коду.

На рис. 23 наведено часові діаграми для БЛЧФ 2121 та 1112, що не є інтегровними. Вихід тригера SR-FF формує ознаку не інтегровності або ознаку недостовірності (достовірності) результату інтегрування за формулою $(p_{i-1} \ominus + a_i) = \#$. Одиничне значення тригера SR-FF на виході Q говорить про те, що функція не інтегровна і отримане значення первісної не достовірне і має ігноруватись.

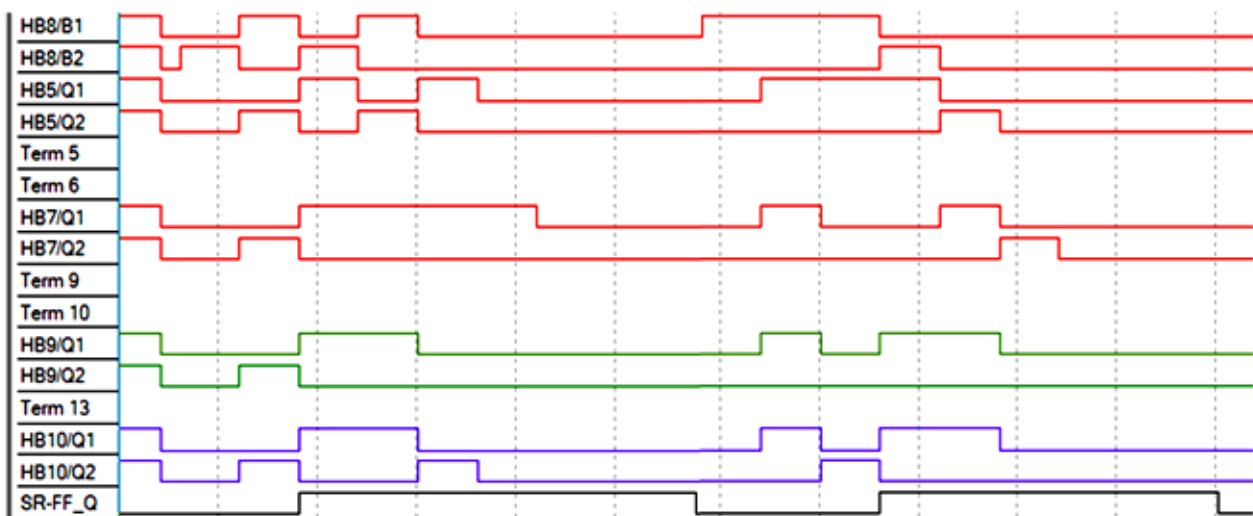


Рисунок 23. Діаграми трійкового інтегратора для не інтегровних функцій

Моделювання роботи інтегратора-диференціатора проводилось в пакеті NI Multisim 14.0 на віртуальних компонентах під управлінням операційної системи Windows 10 Pro на процесорі Intel Core i3-2120 з тактовою частотою 3,3 GHz та об'ємом оперативної пам'яті 8 ГБ.

Схема, що моделювалась, включає в себе 1414 компонентів із них 1325 елементи типу I, АБО, НІ та має 4170 виводів, що з'єднані між собою відповідно до схеми.

Тривалість моделювання одного циклу інтегратора-диференціатора становить 2' 30" ... 3' 30".

Для трійкового слова $a = 20222112$ маємо дві ЛЧФ:

$$\text{ліві тріти вперед } {}_3(aL)_t^8 = 20222112|_3(aL)_t^8 = 202^3 1^2 2|_3(aL)_t^8;$$

$$\text{праві тріти вперед } {}_3(aR)_t^8 = 21122202|_3(aR)_t^8 = 21^2 2^3 0 2|_3(aR)_t^8$$

В результаті диференціювання отримаємо (справа результат моделювання):

$${}_3(aL)_t^8 = 20222112|_3(aL)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$\left[{}_3(aL)_t^8 \right]' = 22001012|_3(aL)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(aL)_t^8 \right] |^{\ominus} dt = 22020102|_3(aL)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(aL)_t^8 \right] |^{\oplus} dt = 22020120|_3(aL)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$\left[{}_3(aL)_t^8 \right]^{(4)} = 01100112|_3(aL)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ \hline \end{array}$$

Якщо початкова умова $p_{-1} = 2$ для $20222112|_3(aL)_t^8$ отримаємо:

$$\int_t^8 \left[{}_3(aL)_t^8 \right] |^{\ominus}_2 dt = 00202102|_3(aL)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 1 & 0 & 2 \\ \hline \end{array}$$

А при $p_{-1} = 1$ отримаємо не інтегровну функцію.

$${}_3(aR)_t^8 = 21122202|_3(aR)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$\left[{}_3(aR)_t^8 \right]' = 10100222|_3(aR)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(aR)_t^8 \right] dt = 21020220|_3(aR)_t^8 \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 1 & 0 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(aR)_t^8 \right] |^{\oplus+} dt = 21202002 | {}_3(aR)_t^8 \rightarrow$$



Нижче показані результати обчислення похідної, а первісних за формулами $\ominus-$ та $\ominus+$ при початкових умовах $p_{-1} = 0$, $p_{-1} = 1$, $p_{-1} = 2$

$${}_3x_t^8 = 11110101 | {}_3x_t^8$$

$$\left[{}_3x_t^8 \right]' = 00011111 | {}_3x_t^8$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(x)_t^8 \right] |_0^{\ominus-} dt = 10100110 | {}_3x_t^8$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(x)_t^8 \right] |_0^{\oplus+} dt = 12122112 | {}_3x_t^8$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(x)_t^8 \right] |_1^{\ominus-} dt = 01011001 | {}_3x_t^8$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(x)_t^8 \right] |_1^{\oplus+} dt = 21211221 | {}_3x_t^8$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(x)_t^8 \right] |_2^{\ominus-} dt = 10100110 | {}_3x_t^8$$

$$\int_t^8 \left[{}_3(x)_t^8 \right] |_2^{\oplus+} dt = 12122112 | {}_3x_t^8$$

Результати моделювання співпадають з результатами отриманими теоретично. Крім того, схема працює і з двійковими вхідними словами, беручи до уваги той факт, що $\int_t^T {}_2x_t^T dt$ не існує.

Дослідницьку схему, що працює в трійковій логіці, не складно перетворити в схему чотиризначної логіки.

Для цього достатньо замінити трітер на два двійкових D-тригери з відповідною вхідною логікою рис. 24.

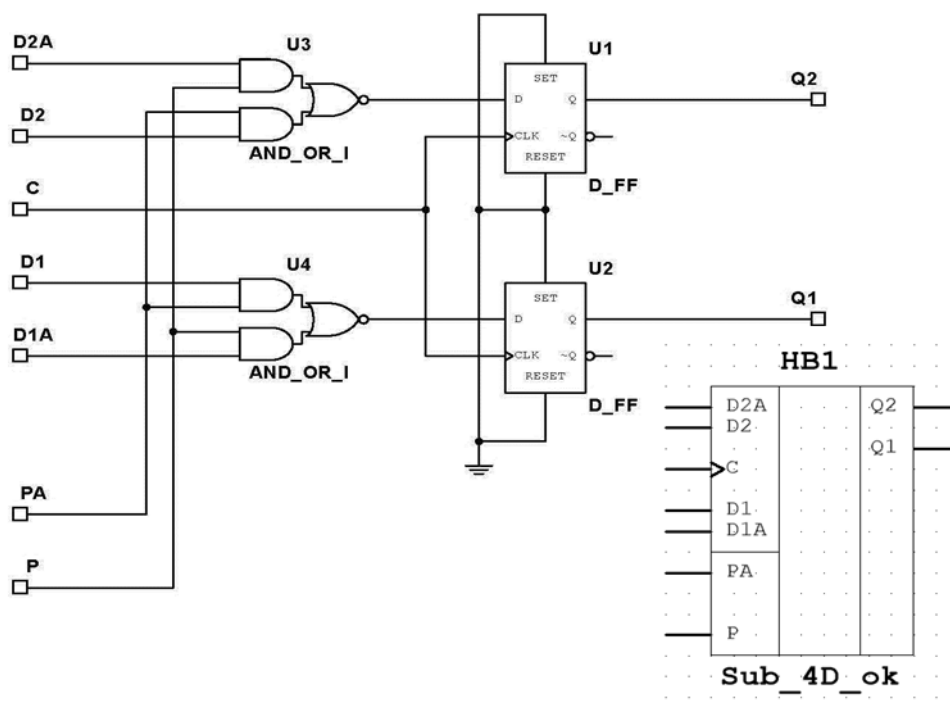


Рисунок 24. Четвірковий тригер

Далі, на базі такого четвіркового тригера створити підсхеми відповідних регістрів із подібними входами і ідентичними функціями та побудувати схеми відповідні схемі нерівнозначності. Потім провести відповідну заміну потрібних підсхем з урахуванням особливостей їх роботи та уточнити генератор слів.

SECTION 6. ENERGY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.6.1

6.1 Digital doubles and intelligent technologies in the training of NPP operators

Nuclear power plants (NPPs) are extremely complex technological facilities that play a key role in the production of electricity. They use a controlled nuclear fission process to generate large amounts of energy converted into electricity. However, the complexity of the design, the interaction of numerous safety systems and the need for high-precision control of a nuclear reactor make nuclear power plants objects of increased risk. Any technical malfunction or operator error can lead to serious consequences, including accidents, leaks of radioactive materials and environmental disasters [144].

Due to the critical importance of safety in the operation of nuclear power plants, special attention is paid to the training of personnel. To do this, modern simulator complexes are used that simulate the real operating conditions of nuclear power plants. They allow the operator staff and engineering personnel to acquire the necessary skills in a safe environment, work out actions in pre-emergency situations and learn how to prevent the occurrence of potential accidents.

Modern training complexes should be based on advanced technologies, in particular on methods of mathematical modeling and digital doubles (Digital Twins). Thanks to these approaches, high-precision simulations of NPP operation are created, which take into account dynamic changes in the parameters of the nuclear reactor, cooling systems, power supply and other important components of the plant. The use of digital twins allows you to simulate different scenarios of the station, predict the development of events in case of deviations from the standard mode of operation, as well as test new technological solutions without risk for real technological equipment [145].

In addition, mathematical modeling allows the analysis of complex physical and technical processes occurring in the nuclear reactor and its auxiliary systems. This

allows not only to improve NPP management methods, but also to improve the overall level of nuclear power safety.

Thus, the use of simulator systems, digital twins and mathematical models is an integral part of modern nuclear energy, aimed at ensuring maximum reliability and safety of NPP operation.

6.1.1. Digital doubles as a simulator tool

A digital twin is a virtual model of a physical system that uses real data to predict the behavior of an object. It allows you to create a detailed simulation of the operation of the NPP power unit, providing accurate visualization and analytics of all working processes [146]. The main stages of creating a digital twin simulator for nuclear power plants include:

- ✓ development of a mathematical model of the NPP power unit (determination of key physical and thermotechnical parameters, development of algorithms describing the behavior of heat exchange systems, coolant circulation and reactivity control, creation of hydrodynamic and thermodynamic models for assessing the state of the reactor and auxiliary systems);
- ✓ integration of data from sensors and control systems (using information from real sensors and SCADA systems to constantly update the model, using machine learning algorithms to analyze deviations from nominal parameters, adapting the digital twin to current operating conditions, which allows obtaining realistic learning scenarios);
- ✓ creation of interface for interaction of operators with simulator (development of graphical interface for visualization of main NPP systems; Integration of controls to simulate the real-time operation of operators inclusion of emergency scenarios for personnel training in emergency situations);
- ✓ implementation of training algorithms based on the obtained simulation data (analysis of operators' reactions to various operational situations and their assessment using artificial intelligence, adaptive adjustment of training programs based on user errors and successes, use of virtual and augmented reality (VR/AR) technologies to improve training efficiency).

6.1.2. Complex structural and functional diagram of interaction of digital twin with NPP operator

The interaction of the digital twin with the NPP operator includes several key components that ensure the continuous exchange of information between the physical object, control systems, artificial intelligence, analytical tools and external regulatory structures (fig. 1).

The physical power unit consists of a nuclear reactor, turbine, generator, cooling systems and other critical units. Its condition is continuously monitored using monitoring and monitoring systems such as SCADA and automated process control system, which receive data from sensors of temperature, pressure, power, radiation level and other parameters. These data are fed into a digital twin that performs mathematical modeling, analyzes the information received and predicts possible deviations in the operation of nuclear power plants [147].

The digital twin interacts not only with control systems, but also with analytical modules for predicting accidents, which assess the probability of pre-emergency situations and offer options for their avoidance. An important component is artificial intelligence, which analyzes structured archives in specialized automated process control system databases, identifies patterns and optimizes control algorithms. Thanks to this integration, the digital twin can provide the operator with detailed predictions of the state of the system, suggest corrective actions and automatically change certain parameters of the station to improve its efficiency.

The operator receives information in the form of visualized reports and analytical forecasts, which allows him to make informed decisions regarding the control of the power unit. If necessary, the operator can influence the NPP executive systems by adjusting the reactor power, changing the coolant circulation parameters or turning on additional safety mechanisms.

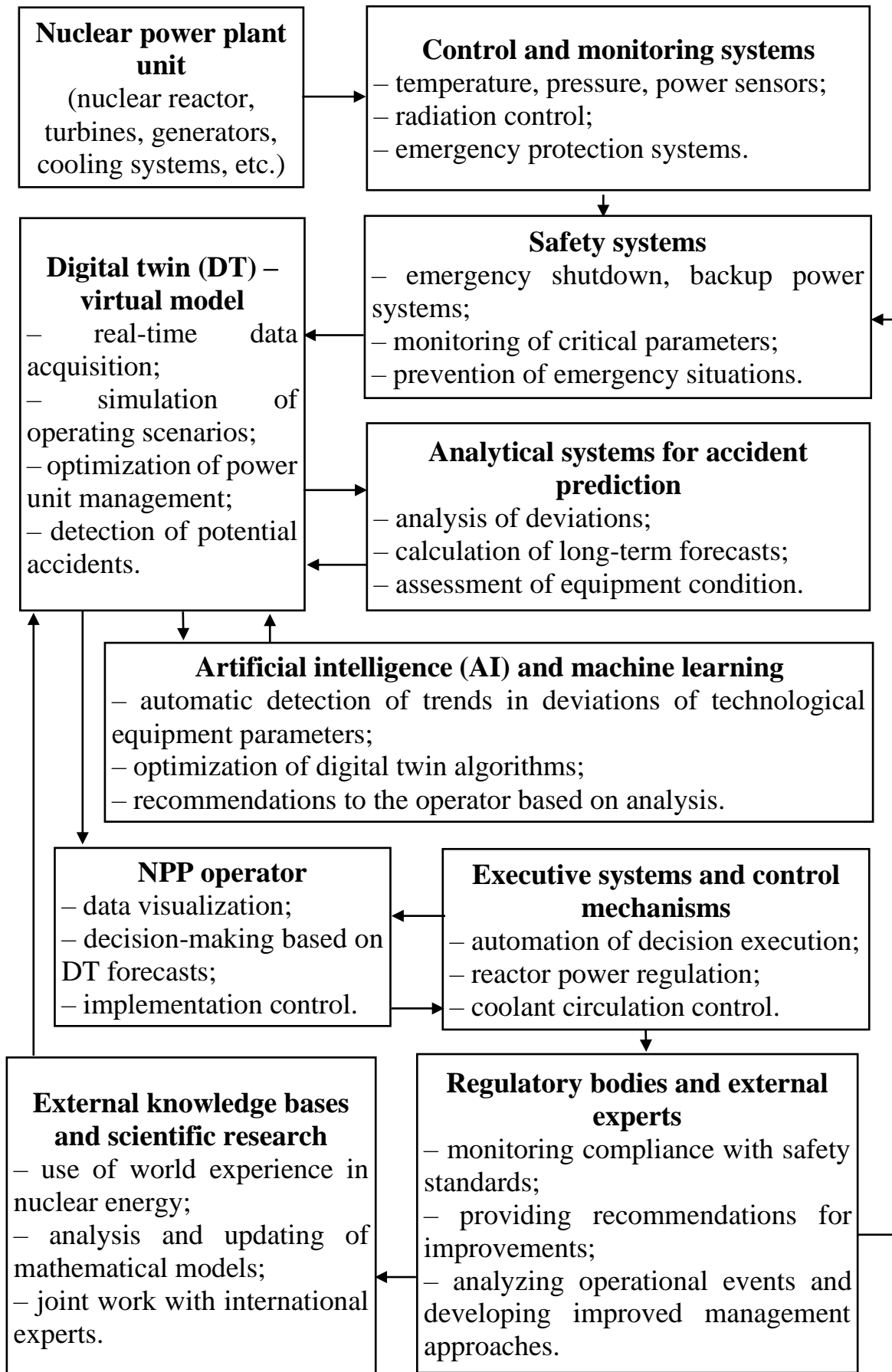


Figure 1. Complex structural and functional diagram of interaction of digital twin with NPP operator

In addition, the digital twin interacts with regulatory authorities that monitor the compliance of NPP operation with international safety standards, and external knowledge bases containing the most modern scientific research in the field of nuclear energy. This allows you to continuously improve the digital twin models and increase the efficiency of the station.

Thus, the digital twin acts as a key tool for improving the safety and efficiency of nuclear power plants, providing equipment failure prediction, control automation and support for operator decision-making. Its interaction with the physical power unit, analytical systems, artificial intelligence and regulatory authorities can significantly reduce the likelihood of accidents and optimize the operation of nuclear power plants.

6.1.3. Development of learning algorithm stages based on the obtained simulation data

Modern nuclear power plants require highly qualified operators, since their decisions can affect the safety and stability of the power unit. Artificial intelligence is used to assess personnel responses to various operational situations, which analyzes the actions of operators in real time or during training simulations. Such systems allow you to identify patterns in behavior, identify weaknesses in the decision-making process and predict the effectiveness of personnel in emergency situations [148].

Based on data on the interaction of the operator with control systems, time delays in reactions, the correctness of the execution of algorithms and decisions made, artificial intelligence forms an objective assessment of skills. This makes it possible to automatically adjust training programs, increasing the level of operator training and reducing the risk of errors during NPP operation.

Traditional methods of operator training often do not take into account the individual characteristics of each specialist, which is why the process of learning knowledge can be ineffective. The use of artificial intelligence and digital twins allows you to implement adaptive training programs that automatically change the complexity and content of training depending on the successes and mistakes of users.

Such systems analyze the results of tests, actions in simulations, the level of assimilation of theoretical material and the practical skills of operators. If a particular user demonstrates poor training in a particular area (e.g., control of reactor cooling systems), the curriculum automatically includes additional training on this aspect. On the contrary, if the operator quickly masters the material, the system can offer him more complex scenarios, which allows him to more effectively develop decision-making skills in emergency situations.

Thanks to this approach, training becomes personalized, which allows faster and better preparing staff for real working conditions.

The use of VR (virtual reality) and AR (augmented reality) significantly increases the efficiency of training of NPP operators, allowing them to work out various scenarios in the most realistic conditions without risk to real equipment. VR simulations allow operators to fully immerse themselves in the virtual environment of nuclear power plants, where they can learn to control systems, respond to emergencies and improve teamwork skills.

AR technologies, in turn, can be used to supplement the real working environment with digital prompts, interactive instructions or dashboards. For example, operators can get real-time visualization of equipment operation parameters, predicted scenarios or prompts for operations. The use of VR/AR in training programs can significantly improve the quality of personnel training, as operators not only learn theoretical aspects, but also acquire practical skills in a safe but realistic environment. This contributes to a better assimilation of the material, faster adaptation to working processes and a decrease in the probability of errors during the actual operation of nuclear power plants.

The developed training system for NPP operators is based on a personalized, dynamic approach that combines adaptive learning, VR/AR technologies, as well as big data analysis using artificial intelligence (fig. 2).

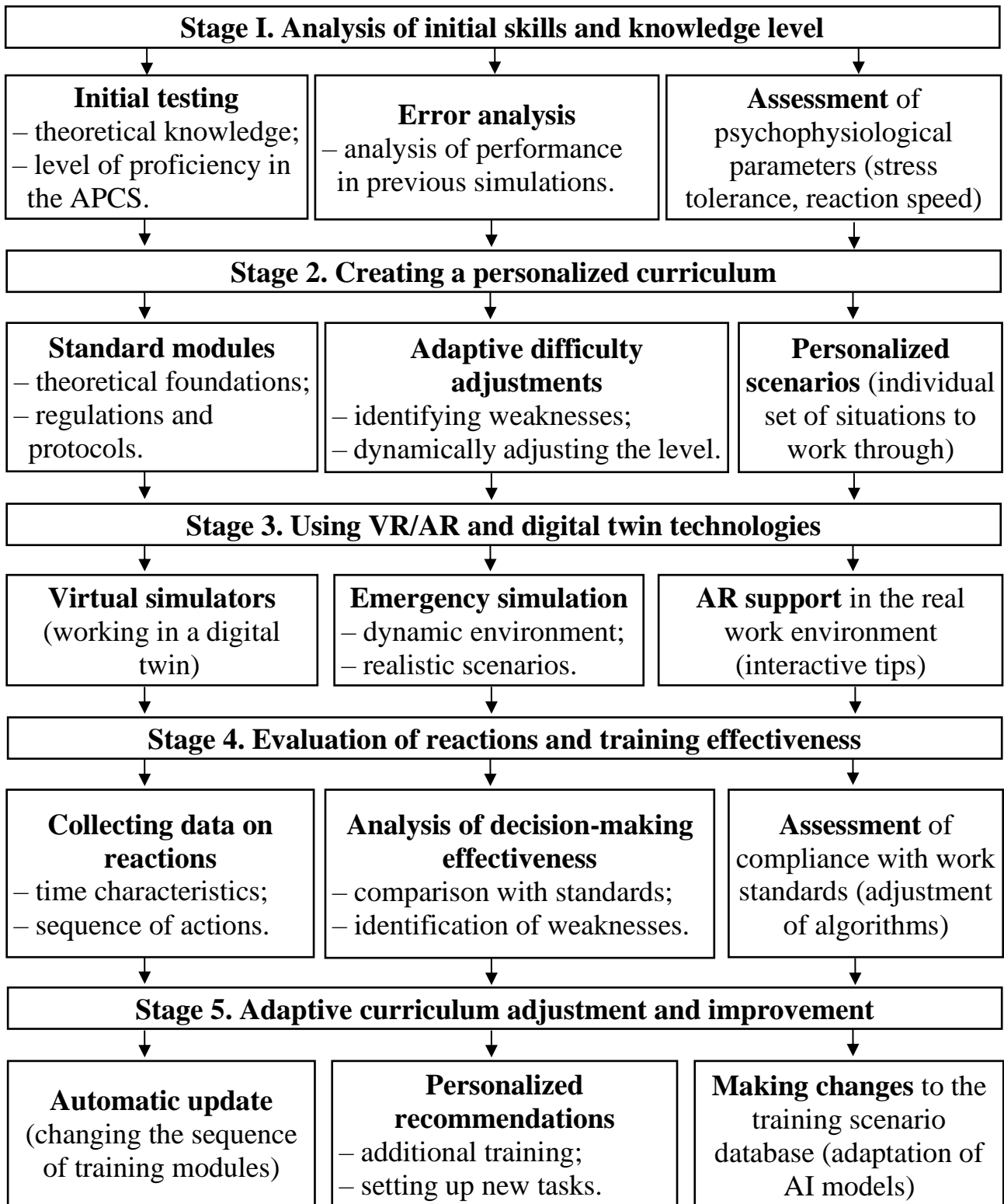


Figure 2. Structural and functional scheme of NPP operators training

This scheme is characterized by flexibility, an integrated approach to assessing knowledge and skills, as well as the possibility of continuous improvement of training algorithms.

Stage I. Analysis of initial skills and knowledge level. Before starting training, it is necessary to assess the level of training of the operator, to identify his strengths and weaknesses. Three main methods are used for this:

- ✓ preliminary testing - the level of theoretical knowledge about the operation of NPP, algorithms of actions in standard and emergency situations, understanding of the principles of operation of control systems (CAS APCS);

- ✓ error analysis - if the operator has already been trained or worked in the system, its preliminary results, typical errors and level of response to emergency situations are analyzed;

- ✓ assessment of psychophysiological parameters - the speed of reaction, resistance to stress, the ability to multitask and concentration of attention is determined.

The obtained data allow to form an individual profile of each operator and determine the optimal training strategy.

Stage 2. Creating a personalized curriculum. Based on the analysis of initial skills, an adaptive training program is created for each operator. It includes: standard modules (theoretical preparation, study of regulations, technical characteristics of equipment, standard operating procedures); adaptive difficulty correction (the machine learning algorithm determines the level of operator training and automatically adjusts the complexity of tasks: if the operator demonstrates high results, the system provides him with more complex scenarios, but if difficulties are found, additional training is offered); personalized scenarios - each operator is provided with a set of situations for testing corresponding to his level of training.

Stage 3. Using VR/AR and digital twin technologies. Realistic modeling is one of the key elements of modern training of NPP operators. Three main technologies are used for this:

- VR simulators - create a full-fledged virtual environment of nuclear power plants, in which operators can interact with equipment, work out standard and emergency scenarios without risk to real infrastructure;

- emergency simulation - the system creates dynamic scenarios simulating unpredictable events such as failure of cooling pumps, reactor temperature rise or power supply system failure;

- AR technologies are integrated into the real working environment, providing the operator with visual prompts for equipment operation, analytical data and recommendations in real time.

Stage 4. Evaluation of reactions and training effectiveness. After passing the training modules, the system analyzes the operator's reactions and determines how effectively he mastered the material. To do this, use the following methods:

- collecting data on operator reactions - the speed of decision-making, the sequence of actions, the accuracy of tasks in a virtual environment or real conditions are recorded;

- analysis of the effectiveness of decisions made - artificial intelligence compares the actions of the operator with normative algorithms and detects deviations;

- assessment of compliance with standards - the system analyzes whether the operator's decisions comply with NPP operation regulations and safety standards.

The results of the analysis allow you to determine how the operator is ready for work, as well as identify weaknesses that require additional training.

Stage 5. Adaptive curriculum adjustment and improvement. The curriculum is dynamic and changes according to the results of the operator. If problematic aspects are identified during the training effectiveness analysis, the system automatically changes the program by adding certain elements, such as:

- automatic updating of training modules - changing the sequence of classes, adding new scenarios for testing;

- personalized recommendations - the operator receives individual advice on improving skills and directions for further training;

- changes to the scenario database - the received training data are used to update the general scenario database and optimize the training system.

The proposed training system for NPP operators combines a personalized approach, the use of advanced digital modeling technologies and real-time reaction

analysis. This allows not only to improve the quality of training, but also to minimize the risks of errors in real operating conditions. The use of VR/AR, digital twin and artificial intelligence makes the learning process as close as possible to the real operating conditions of nuclear power plants, which contributes to increasing the level of safety and efficiency of nuclear energy.

The introduction of digital twins, VR/AR technologies and artificial intelligence in the training of nuclear power plant operators is a key area for improving the safety and efficiency of nuclear power plants. The use of advanced simulation platforms allows personnel to work out both standard and emergency scenarios in a safe environment, which significantly reduces the risk of human errors in real conditions.

Thanks to digital twins, it is possible to create high-precision mathematical models of the operation of a nuclear reactor, cooling systems and power supply, which allows predicting possible equipment failures, optimizing control processes and improving training programs. The integration of these technologies with artificial intelligence makes it possible to automatically analyze the reactions of operators, adapt training programs based on their successes and mistakes and provide a personalized approach to training.

The developed training methodology includes the stages of initial assessment of operator skills, the formation of a personalized curriculum, the use of VR/AR simulations, the evaluation of reactions and adaptive adjustment of the program. This approach allows to provide comprehensive and effective training of NPP operators, which meets the modern safety and reliability requirements of nuclear energy.

Thus, digital twins and modeling technologies are an integral part of the modernization of the NPP personnel training system, contributing to increasing the level of safety, reliability and efficiency of nuclear power plants.

6.2 Fuel supply system as an object of flow and economic-mathematical modeling

Участь країни в колективних проектах паливозабезпечення передбачає розгляд системи паливозабезпечення як системи виробництв, що здійснюють видобуток паливних продуктів, їх перетворення в різноманітні проміжні форми, а також системи зв'язків – джерел та напрямків транспортування [149-164]. Вказані об'єкти є взаємозалежними елементами системи паливозабезпечення, створення яких слід розглядати як процес у часовому аспекті, що передбачає аналіз варіантів у економічному та безпековому аспектах протягом всього періоду розбудови та функціонування. Ці положення окреслюють вимоги до моделей системи паливозабезпечення, які відповідають наявним викликам економічної та енергетичної безпеки.

Очевидним засобом подання вказаних вище пріоритетів паливозабезпечення є моделі балансу видів палива, що дозволяють відобразити вплив цих пріоритетних цілей на якість паливних балансів, яка визначається обсяговими, економічними (вартісними) та безпековими критеріями [165].

З точки зору моделювання, поняття паливозабезпечення означає впорядковану послідовність виробництв, технологічних процесів та видів економічної діяльності, спрямованих на задоволення потреби в паливі всіх галузей економіки держави. Паливозабезпечення є неперервним у часі процесом руху енерговмісних продуктів, що описується системою рівнянь балансу їх обсягів. В загальному вигляді рух кожного виду палива в економіці держави складається з чітко впорядкованої послідовності процесів виробітку, транспортування, накопичення, перетворення, споживання.

Таким чином, систему паливозабезпечення країни органічними паливами доцільно визначити як сукупність 1) видобувних та переробних підприємств, 2) транспортних систем, 3) споживачів паливних продуктів, які разом здійснюють взаємоузгоджені процеси 1) видобутку первинних енергоносіїв, їх переробки й збагачення, 2) перетворення, виробництва вторинних енергоносіїв,

3) імпортування первинних та вторинних енергоносіїв, 4) транспортування продуктовими мережами, морським та залізничним транспортом, 5) постачання промисловим, комунальним споживачам і населенню.

Продуктами системи паливозабезпечення є первинні викопні органічні палива – вугілля, природний газ, нафта і вторинні паливні ресурси – кокс, пиловугільне паливо, нафтопродукти, скраплений газ та ін.

Дослідження енергетичних балансів країн світу дають можливість сформулювати наступні властивості паливозабезпечення, як багатопродуктового виробничого процесу у відкритій економічній системі.

1) проблема забезпечення економіки паливними продуктами вирішується кожною країною світу на основі встановлення балансу між потребою та надходженням, що залежать від відповідних факторів.

2) фактори потреби визначаються індивідуальною структурою виробничих потужностей в галузях економіки країни, обсягами кінцевого споживання первинних палив і вторинних паливних ресурсів та обсягами їх перетворення в енергетичному й неенергетичних секторах економіки.

3) до факторів надходження належать рівень забезпечення первинними паливами власного видобутку, технологічна ефективність переробної галузі, джерела та обсяги імпортування, цінова кон'юнктура ринків енергоносіїв.

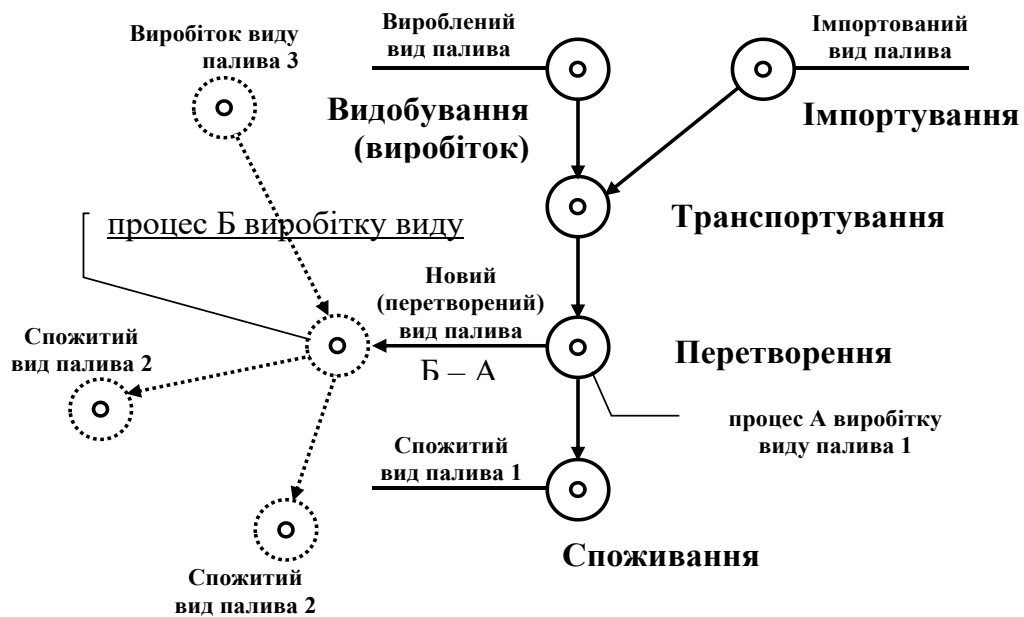
4) баланси паливних продуктів забезпечуються мережними системами трубопровідного транспортування на рівні миттєвого потокорозподілу. На технологічному рівні довгоперіодне балансування потоків палива здійснюється технологіями накопичення й зберігання.

5) паливозабезпечення економіки країни здійснюється системою взаємопов'язаних за продуктами виробничих і транспортних підприємств, що утворюють впорядковані послідовності (ланцюги) виробітку, транспортування, перетворення, споживання первинних і вторинних палив.

6) на ланках перетворення й споживання ланцюги паливозабезпечення окремими видами палив взаємодіють між собою, забезпечуючи заміщення видів палива в енергетичному балансі країни;

7) вимога гарантованого паливозабезпечення економіки обмежує потоки паливних продуктів з джерел власного видобутку та імпортування співвідношеннями обсягів, що задаються критеріями енергетичної безпеки, регламентованими законодавством країни.

Систему паливозабезпечення з описаними властивостями [166] запропоновано подавати у вигляді абстрактної потокової моделі, зображеної на рис. 1. Метою розробки цієї моделі є співставне одночасне відображення структури продуктотранспортних мереж у вигляді їх графів, а також технологічних ланцюгів немережних підсистем постачання палив у вигляді поточкових діаграм продуктових зв'язків. В цьому поданні визначаються вузли взаємодії ланцюгів паливозабезпечення окремими видами палива, обирається необхідний рівень деталізації моделі. У цьому ж поданні до схеми додаються уявні конструктивні елементи для формування критеріїв енергетичної безпеки.



Малюнок 1. Абстрактна потокова модель системи паливозабезпечення

В загальному вигляді рух кожного виду палива, – від видобування чи зовнішнього надходження до споживання, можна зобразити у вигляді схеми, поданої на рис. 1. Очевидно, що вся сукупність цих різнорідних процесів природно узагальнюються в моделі графа деякої уявної мережі, якщо до функції вузла віднести процес, а до функції ребра (лінії, ділянки) – зв'язок між процесами

за вхідним і вихідним продуктами. Таким чином, виробіток, транспортування, споживання є функціями вузла, і обсяги палива в цих процесах чисельно описуються відповідними змінними величинами вузлів. Натомість, зв'язок між вузлами зображується лінією – ребром графа мережі.

Структура балансово-оптимізаційної моделі паливозабезпечення визначається структурою балансу окремих видів палива в економіці країни. Тому необхідним елементом побудови моделі є запис рівнянь балансу з виділенням окремих видів палива на всіх стадіях їх обігу, зокрема й у процесах виробітку вторинних енергоносіїв, призначених для кінцевого споживання на виробіток неенергетичних продуктів. В загальному випадку рівняння балансу i -го виду палива, що відповідає графу руху палива на рисунку 1, має вигляд

$$F_{i, \text{власн_вир}} + F_{i, \text{імп}} - \sum_{j=1}^{N_{i, \text{перетв}}} F_{ij, \text{перетв}} - F_{i, \text{експ}} - \sum_{k=1}^{N_{i, \text{спож}}} F_{ik, \text{спож}} = 0 \quad \Bigg|_{i=1, N_{\text{ПП}} + N_{\text{ВП}}}, \quad (1)$$

$$(1 - \xi) \cdot F_{i, \text{імп}} - \xi \cdot F_{i, \text{власн_вир}} = 0, \quad (2)$$

де $F_{i, \text{власн_вир}}$ – обсяг власного виробітку i -го виду первинного палива (ПП);

$F_{i, \text{імп}}$ – обсяг імпортування i -го виду ПП;

$F_{ij, \text{перетв}}$ – обсяги перетворення i -го виду ПП при виробітку j -го виду вторинного палива (ВП), або енергоносія (енергетичного продукту) кінцевого споживання (ЕКС);

$F_{i, \text{експ}}$ – обсяг експорту i -го виду ПП;

$F_{ik, \text{спож}}$ – обсяг споживання i -го виду первинного або вторинного палива у k -му секторі економіки, або на виробіток k -го виду кінцевої продукції (в залежності від рівня деталізації моделі);

ξ – частка обсягу імпортованого палива i -го виду.

$N_{i, \text{перетв}}$ – загальна кількість технологічних процесів виробітку

вторинних палив з i -го виду ПП;

$N_{i, \text{спож}}$ – загальна кількість видів технологічних процесів споживання i -го виду первинного або вторинного палива.

$N_{\text{ПП}}$, $N_{\text{ВП}}$ – загальні кількості первинних і вторинних палив, відповідно.

Обсяги F_i в рівняннях (1) нормуються на обсяг виробітку палива у вузлі.

Процес вузла описується коефіцієнтами витрат і втрат вхідних видів палив на виробіток вихідного виду.

Графи обігу окремих видів палива з'єднуються ребрами типу ребра В – А якщо вид палива 1, що виробляється в процесі А, споживається в процесі В виробництва палива 2. Результуючий граф розглядається як схематичне подання структури обігу палив в економіці країни із врахуванням їх взаємних перетворень і кінцевого споживання. Системи рівнянь (1) і (2) описують баланс потоків мережної моделі паливозабезпечення та додаткові умови на ці потоки, що накладаються вимогами енергетичної безпеки.

Разом з цим, паливозабезпечення, як сукупність галузей економіки, технологій і виробництв [167], є складною багатопродуктовою виробничою системою, що підлягає дослідженню в класі моделей міжпродуктового балансу. Вперше модель міжпродуктового балансу з'явилась в економічній науці в роботах В.В. Леонт'єва [168], і була пізніше розвинена до класу оптимізаційних моделей Л.В. Канторовичем [169] та Т.С. Купмансом [170, 171]. Базовим поняттям цих моделей є технологічний спосіб, як векторно-матричний об'єкт, за допомогою якого формується система обмежень оптимізаційної моделі міжпродуктового балансу. Запровадження технологічного способу дало можливість описати будь-який виробничий процес, що виділяється дослідником як окремий об'єкт моделювання, поняттям модельного продукту, співставити йому множину витратних показників – ресурсів, а також розрахувати ціну, що враховує витрати ресурсів та інших продуктів системи на всіх ділянках виробничого ланцюга. Ґрунтовний розвиток та приклади застосування оптимізаційних моделей на основі поняття технологічного способу до

різноманітних економічних систем можна знайти в [172]. В застосуванні до задач дослідження оптимальної структури паливозабезпечення країни моделі цього типу доцільно використовувати в двох аспектах. По-перше, розв'язок оптимізаційної задачі з використанням наперед заданого, окремо обґрунтованого критерію оптимальності дає шукану структуру обсягів паливозабезпечення. По-друге, розраховані на другому етапі моделювання ціни на продукти системи, є деталізованим індикатором економічної ефективності функціонування всіх ланок модельованої системи.

Багатопродуктовість є основною характерною рисою моделі виробничого типу на відміну від моделей транспортного, розподільного чи виробничо-транспортного типу, в яких моделюється виробництво та транспортування одного продукту.

Модель міжпродуктового балансу за схемою Леонтьєва перетворюється в оптимізаційну модель виробничого типу, якщо в ній представлено декілька технологічних способів виробництва одного й того ж продукту, можливі комплексні виробництва, а також додана ресурсна система рівнянь. Процеси транспортування моделюються як переміщення продукту за певним маршрутом, тобто транспортування розглядається як різновид виробництва. Модель має більше змінних ніж рівнянь і є варіантною. Для отримання змістовного розв'язку до системи рівнянь додається цільова функція, що виражає прийнятий енергоекономічний критерій оптимальності.

Модель виробничого типу подається у вигляді

$$G \cdot X = Y, \quad (3)$$

$$D \cdot X = D^*, \quad (4)$$

$$\Theta \cdot X = 0, \quad (5)$$

$$R \cdot X = R^*, \quad (6)$$

$$X^- \leq X \leq X^+ \quad (7)$$

$$C \cdot X \rightarrow \min, \quad (8)$$

де G і D – продуктові матриці випуску та витрат відповідно основних та додаткових продуктів, що разом утворюють технологічну матрицю моделі;

Θ – матриця допоміжної підсистеми;

R – ресурсна матриця витрат екзогенних ресурсів;

Y і D^* – вектори кінцевих обсягів основних і додаткових продуктів відповідно;

R^* – вектор обсягів споживання екзогенних ресурсів;

C – цільовий вектор;

X — вектор змінних;

X^+ , X^- — вектори верхніх та нижніх обмежень на змінні, відповідно.

Підсистема рівнянь пропорціонування (5), яка утворюється допоміжною матрицею моделі, встановлює допоміжні структурні пропорції або обмеження на змінні моделі.

Підсистема рівнянь пропорціонування використовується для врахування додаткових зв'язків між параметрами технічної системи. Такі зв'язки обумовлюються, фізичними законами, технічними обмеженнями, властивими модельованим технологічним процесам. Ця підсистема є допоміжною системою рівнянь, що дописується до основної — технологічної системи балансових рівнянь (3) — (4), і виражає в лінійній або лінеаризованій формі внутрішньо властиві залежності модельованої системи.

Зокрема додаткову систему допоміжних рівнянь моделі виробничого типу можна застосувати до врахування закону збереження енергії (балансу вузлових енергій) в мережних системах транспортування паливних продуктів, а також пропорцій паливних продуктів в потребі споживачів.

Виходячи з цих міркувань доцільно розробити методичний підхід до перетворення балансових співвідношень потокових моделей мережних систем паливозабезпечення, а також інших систем транспортування паливних продуктів із структурованими логістичними схемами постачання, в систему рівнянь балансу моделі виробничого типу, побудовану на основі поняття технологічного способу. В основу цього підходу покладено систему аналогій між змінними потокових моделей та інтенсивностями технологічних способів – змінними моделей виробничого типу.

SECTION 7. FOOD AND LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.7.1

7.1 Improving the technology of shrimp mousse products

Pasty products from aquatic organisms are gaining popularity in the global market of fish products and are in great demand among consumers. This is due to their organoleptic characteristics, ease of consumption, high nutritional value and degree of assimilation, as well as the spread of low-waste industries. The technology of pasty products allows to obtain products enriched with various flavoring additives, functional ingredients, using raw materials with mechanical damage. The range of these products includes fish pates, pastes, oils, creams and mousses [173].

The current state of nutrition of the population of Ukraine is characterized by a deficiency of many essential nutritional factors. One of the main conditions for the vital activity of the human body is the mandatory presence in the diet of high-quality proteins, high-performance lipids, vitamins and minerals, which must be taken into account when choosing food ingredients. Therefore, the issue of expanding the range of pasty products based on valuable raw materials and natural ingredients that improve not only organoleptic properties, but also increase the nutritional, biological value and benefits of the product for the body. A promising direction for solving this problem is to improve the technology of mousse products from shrimp and raw materials of animal and vegetable origin.

Shrimp, like all seafood, is a source of complete protein. 100 g of cooked shrimp meat contains about 20-24 g of protein. So usually only 100 g is enough to cover 20-40% of the daily protein requirement. It has been established that shrimp meat is characterized by a relatively high content of essential amino acids (44.7%), of which leucine and lysine predominate.

Low fat content is another significant advantage of this raw material. Seafood makes it possible to easily balance your meal in terms of calories, proteins, fats, carbohydrates. Shrimp lipids contain biologically active polyunsaturated fatty acids

(22.9% of the total amount of fatty acids), which is an important structural element of many classes of lipids. Among the species composition of fatty acids, oleic, myristic, palmitic acids predominate in shrimp lipids. It should be noted that the measure of lipid resistance to oxidation, high iodine value, is associated with the amount of unsaturated fatty acids.

The advantage of shrimp is low calorie content and at the same time high nutritional value. This protein product is well saturating, satisfies hunger, and at the same time shrimp contains only 90-110 kcal per 100 g.

Shrimp meat is tender, tasty, contains valuable vitamins and minerals. The concentration of useful micro- and macroelements in shrimp is dozens of times higher than in meat. Thus, shrimp contain sodium, potassium, phosphorus, sulfur, magnesium, iron, zinc, copper, manganese, iodine, fluorine, cobalt, nickel, molybdenum and others. To get the daily norm of iodine, it is enough to eat only 100 grams of shrimp. Thanks to the calcium in the composition, shrimp strengthen bones, improve blood flow and normalize kidney function. This type of shellfish is rich in phosphorus (about 15-20% of the daily norm in 100 g of shrimp meat), which makes them useful for bones and teeth. Shrimp contain chromium, which removes excess fat and harmful cholesterol from the body. Literally 100 g is enough to provide 70% of the daily requirement for selenium. It is needed for immunity, hair and skin health, thyroid function and the reproductive system.

Shrimp is a powerful source of provitamin A. It is useful for our skin and vision. Shrimp meat is also rich in vitamins: E, C, PP, B1, B2, B3, B6, B9, B12, H. 100 g of shellfish meat contains 35% of the daily requirement of B12. This vitamin is needed for the nervous system, memory, digestive function and as a prevention of anemia.

Eating shrimp helps reduce the body's sensitization and prevent allergic reactions. When consuming shrimp, the body produces the hormone of happiness serotonin. Thanks to this, the body copes with stress more easily. Shrimp contain antioxidants that protect the body's cells from stress and negative influences. With regular consumption, shrimp prevent the appearance of cancer.

The main areas of use of shrimp are the production of delicatessen food products,

including cooked and frozen, canned food, culinary products. Waste from obtaining meat can be used for the production of chitin, chitosan, food coloring, as well as feed products [174].

Shrimp meat is advisable to use in mousses in combination with various plant and animal components to create balanced nutritional and biologically valuable products.

A significant part of the range of fish paste products is pate and paste, due to their nutritional properties and unique sensory characteristics. The attention of many scientists is focused on expanding the raw material base for the manufacture of pasty products, improving organoleptic and rheological parameters and replacing traditional raw materials [175, 176].

Fish pastes are made from herring, mackerel, salmon, culled for mechanical damage, as well as small fish species. Raw materials are used mainly in salt form [175]. The technology of salted herring and salmon paste is known, which includes the preparation of fish raw materials (soaking salted fish, filleting, washing) and auxiliary materials (butter, cheese, broccoli, bell pepper, carrots and lakonos), grinding, packaging. This method ensures the production of fish paste with a rich component composition and a bright taste range. The disadvantage is the use of expensive salmon grown in mariculture conditions, which has an unbalanced lipid and protein composition due to the use of artificial feeds.

Paste-like products made from minced meat of fresh sea or ocean fish or from minced fish are also common [176]. There is a known method for preparing fish paste, according to which the disassembled fish raw material is ground into minced meat, simultaneously salted, the resulting brine is separated, washed and filtered. The resulting product is subjected to fine grinding to obtain a uniform homogeneous paste structure with the simultaneous addition of vegetable oil, sugar, spices, baking soda and pomegranate extract. The disadvantages of the specified method include a significant duration and laboriousness of obtaining fish paste. The product obtained by the specified method has low nutritional and biological value, since the fish raw material is washed with water, resulting in the loss of extractive proteins, vitamins,

which significantly reduces the nutritional and biological value of the finished product.

There are well-known pastes that use milk and liver in addition to fish meat. The technology allows to obtain a food product with high nutritional and biological value and original taste. The technology of preparation of a pasty product is known, which includes preparation of a binary composition based on soy protein paste, with subsequent addition of pate mass from blanched liver and salmon milk, fried onion, salt and spices. The disadvantages of this method include the complexity of the technological process for obtaining a pasty fish product, as well as the presence of a technological sterilization operation, which significantly reduces the nutritional and biological value of the finished product. The technology of obtaining a food emulsion by heat treatment of fish milk, grinding it to a homogeneous consistency, adding flavorings, pasteurizing the resulting mixture and subsequent homogenization with the simultaneous addition of vegetable oil is known. The disadvantage of these products is low structural-mechanical and antibacterial properties and organoleptic indicators.

Valuable fish raw material for the production of paste-like products is caviar. Caviar pastes and oils are made from capelin, herring, salmon, flounder, hake, and cod caviar. The technology of paste-like products allows the use of substandard caviar, which ensures the comprehensive use of raw materials [177, 178]. There is a known technology for obtaining a food product with high nutritional and biological value, using salted caviar and herring fillet, butter, and flavorings in a certain ratio. When studying the quality of pastes based on fish, significant attention is paid to sensory properties and lipid oxidation. Theoretical and practical research is needed to create and improve the quality of paste-like products based on freshwater fish caviar. It is known that the protein and lipid components of fish caviar have emulsifying, structure-forming properties [179, 180]. This raises interest in using caviar in the technology of pasty products without additional addition of structure regulators to ensure the appropriate consistency of the finished product.

In the technology of pasty products, the trend of creating multicomponent products by combining different types of raw materials in order to increase their nutritional and biological value does not lose its relevance. The nutritional and biological value of pasty

products is increased by adding non-fish raw materials of aquatic origin, animal and plant raw materials, including fruit and vegetable raw materials, spicy and aromatic root crops, secondary high-protein products of plant processing. Squids are an attractive source of valuable components, with the addition of which a functional pate based on freshwater fish has been developed. The technology of fish pate from pike, bream, which additionally contains pumpkin, vegetable oil and algae is known. The positive effect of the use of red ginseng powder on the sensory properties and lipid oxidation indicators of fish pastes has been established [181, 182].

Analysis of technologies of pasty products showed that spicy-aromatic plants or their extracts are used in their prescription compositions [183, 184]. This improved not only the taste and aromatic characteristics of finished products, but also their quality and safety. The technology of production of vegetable-fish pastes and carp pates with the addition of pumpkin, onion and CO₂-extract of black pepper, CO₂-extract of garlic is known. The technology provides an increase in the nutritional and biological value of the product. A method of obtaining vegetable-fish pates using chitosan as a structure-forming agent and the addition of CO₂-extracts of spices is presented. Silver carp, carp and catfish were used as fish raw materials; and carrots, onions, sweet peppers, tomatoes, wheat served as plant components. It was studied how oregano essential oil helped extend the shelf life of the roe paste taramastored at 4°C .

Among paste-like products, fish oils, creams, and mousses are also popular [185, 186]. A feature of these products is the combination of high nutritional value with a light, pleasant texture. Therefore, the selection of a fat base (butter, oil, mayonnaise), available fish raw materials, and their ratio to ensure appropriate rheological and organoleptic indicators is the subject of research by domestic and foreign scientists.

For the preparation of fish oil, such fish species as herring, mackerel, sardines (ivasi, sardinella, sardinops), and food waste from salmon dismemberment are used. A technology for preparing “Delicaciesne” and “Novynka” oils has been developed, which include boiled-frozen krill meat and salted pollock caviar. Shrimp oil, which is prepared from “Ocean” protein paste or krill meat and butter, has a good taste and delicate consistency. Shrimp oils have a pinkish-cream or pink color, a pleasant taste and aroma,

and a delicate consistency.

Due to their attractive appearance, light airy consistency, high nutritional value, and unique taste and aroma properties, creams and mousses from hydrobionts deserve the attention of discerning consumers. There are recipes for Scottish fish cream, which, in addition to skimmed haddock fillet, includes milk, butter, eggs, fresh wheat bread, salt, pepper, flavoring (with shrimp or parsley flavor) and some other components.

The technology for preparing a low-salt creamy product from hydrobionts (fish, squid, octopus, bivalves, and gastropods) is known. The technologies for mousse from fresh salmon with shrimp, fresh haddock meat with shrimp, and smoked haddock meat are known. Which contain at least 40.0% fish meat with mayonnaise and bechamel sauce.

In recent years, lactic acid microorganisms have been used in the technology of paste products. It has been proved that their use promotes the formation of harmonious smell and taste in minced products, and they also act as preservatives. There are technologies of fish pastes and pâtés, including those from freshwater fish, using different protective cultures for biopreservation [187]. The disadvantage of these technologies is the increased cost of manufacture of paste products.

An important task in developing paste-like emulsion products is ensuring a stable structure and appropriate consistency of the finished product. In order to improve the rheological properties of paste products, emulsifiers and thickeners are used, along with the appropriate technological processes and conditions of their preparation.

Hydrocolloids from plants and seafood (carob gum, pectin, maize phosphate starch, carboxymethyl starch, sodium alginate, agar-agar, carrageenan, chitin, chitosan) are used to regulate the consistency and improve the functional properties of paste products. Gelatine extract and milk concentrate, carotenoid extract can be used as additives [188, 189].

Some researchers believe that stabilisation of minced products, including pastes, requires simultaneous use of emulsifiers or thickeners of different chemical nature. Technologies of low-fat emulsions and moulded fish products based on binary compositions have been developed: chitosan –soya protein isolate; homogenised

laminaria –soya protein isolate; minced fish muscle tissue –starch.

It was found that the simultaneous use of emulsifiers and thickeners of different chemical nature expanded the functional and technological properties of a binary structurant, increased the water-retaining, water-absorbing and fat-absorbing capacity of minced fish, the yield of finished moulded products, allowed obtaining stable emulsions with the fat content not more than 35% [189].

According to the patent (US No. 20070254066), the consistency of fish pastes can also be regulated by adding enzyme preparations of animal, microbial, and vegetable origin. They break down the biopolymer components of the raw materials and improve the mechanostructural, taste, and aromatic characteristics of the products.

Despite the wide world range and experience in the production of pasty products, their production in our country remains problematic. Modern technologies for the production of these products are based on the use of fish raw materials and a large number of synthetic flavoring and stabilizing additives. Therefore, an important task is to expand the range of pasty products based on crustaceans.

The purpose of the work is to improve the technology of multicomponent mousses based on aquatic organisms.

The object of research – indicators of quality of finished products.

The subject of research – technology of making shrimp mousse.

The organoleptic assessment of the quality of frozen shrimp was carried out in accordance with DSTU 4440:2005 “Frozen shrimp. Technical conditions”, which is given in table 1.

The results of organoleptic analysis showed that the indicators met the established requirements, which indicates the good quality of the raw materials.

Table 1.

Organoleptic characteristics of frozen shrimp

Indicator name	Characteristic
Appearance	Clean, without damage to the carapace, of the same size group, slightly bent. The presence of caviar on the lower part of the neck was established, antennae broken off up to 5%

Continuation of table 1

Dismantling	Correct
Meat color	From white-pink to pink-orange
Meat consistency	Dense, juicy, slightly dry
Taste (after defrosting cooked)	Pleasant, typical of boiled shrimp meat, without any foreign taste
Scent	Typical for this type of product, without any foreign odor
Laying procedure	Bulk
Foreign impurities	Not detected

The product yield and waste during shrimp dissection are given in table 2.

Table 2.

Size and mass composition of shrimp

Output of products and waste, %	Shrimp			
	Raw		Vegetables	
	Very large and large	Medium and small	Very large and large	Medium and small
Losses during washing	2..4	2..4	10..15	10..15
Cephalothorax	38..48	23..40	35..45	20..35
Necks (with carapace)	50..60	60..75	40..55	55..65
Necks (without carapace)	40..52	50..65	30..45	40..55
Carapace and other losses	12..20	14..25	15..25	15..30

The results of studies of the dimensional and mass composition show that the yield of edible parts in medium and small boiled shrimps is 40-55%, which exceeds this figure in large specimens (30-45%).

Therefore, it is advisable to use medium and small shrimps for the production of mousses.

The results of studies of the chemical composition of the meat of boiled-frozen shrimps with and without shells are presented in table 3.

Table 3.

Chemical composition of shrimp meat

Object name	Mass fraction, %			
	moisture	protein	ash	fat
Boiled and frozen shrimp without shell	80± 0,19	17,2± 0,17	1,04±0,09	1,02±0,02
Boiled and frozen shrimp with shell	69,6± 0,24	18,6±0,18	1,89±0,02	1,05±0,01

According to the results of the analysis, it was found that shrimp are a high-protein raw material. The difference in chemical composition between shrimp with and without shells is observed in the increase in the proportion of protein and minerals in cooked-frozen shrimp with shells.

Having characterized the raw materials for the production of mousse, we can say that we chose it in order to harmonize the taste of new recipes and increase nutritional value.

The task of our work in improving the recipe composition was to select and arrange ingredients to create natural mousses without the use of synthetic flavors, flavor enhancers, thickeners.

Samples of shrimp-based mousses were developed with the addition of ingredients such as: cream cheese, cream, avocado and apple, which improve the organoleptic characteristics of finished mousse products, increase the nutritional and biological value of finished products, enrich the composition with additional minerals and vitamins.

The control was selected mousse based on minced cod without the addition of plant ingredients.

Justification of the recipe composition of mousse products was carried out on the basis of organoleptic evaluation.

Comparative characteristics of the control and experimental mousse samples are presented in table 4.

Table 4.

Comparative characteristics of the prescription composition of control and experimental samples of mousses

Name of ingredients	Ingredient content, %			
	Control	Experimental samples		
		№1	№2	№3
Shrimp meat	35	47	52	62
Minced cod fish	40	-	-	-
Minced trout is slightly salty	-	42	-	-
Cream cheese	15	-	-	24
Cream	-	-	-	12
Avocado	-	-	22	-
Apple	-	-	15	-
Stone salt	0,8	1,2	1,2	1
Garlic	-	0,6	-	0,8
Olive oil	-	8	9	-
Egg yolk	3,6	-	-	-
Water	3	-	-	-
Xanthan gum	0,25	-	-	-
Carob gum	0,15	-	-	-
Aroma of shrimp	0,05	-	-	-
Paprika	0,15	0,6	0,4	0,1
Ground black pepper	0,2	0,6	0,4	0,1

The prescription composition of mousses determines the appropriate organoleptic characteristics. In particular, the color of mousses depends on the use of vegetable raw materials. Avocado gave a green tint in sample №2.

Flavor and aroma indicators are improved by spices and vegetable cheese, which was added by us according to recipes. Adding black pepper, paprika and garlic adds spiciness and originality to the taste.

Determination of organoleptic parameters has been carried out by the profile method using a 5-point scale. Differentiated organoleptic analysis of mousses allows to establish the assessment of the intensity of individual quality indicators and to present the results in the form of a profilogram.

Comparison of the obtained samples of mousses with the help of a quality polygon is shown in fig. 1. Organoleptic evaluation of shrimp-based mousses was

performed on the following indicators: external appearance, color, consistence, taste, aroma.

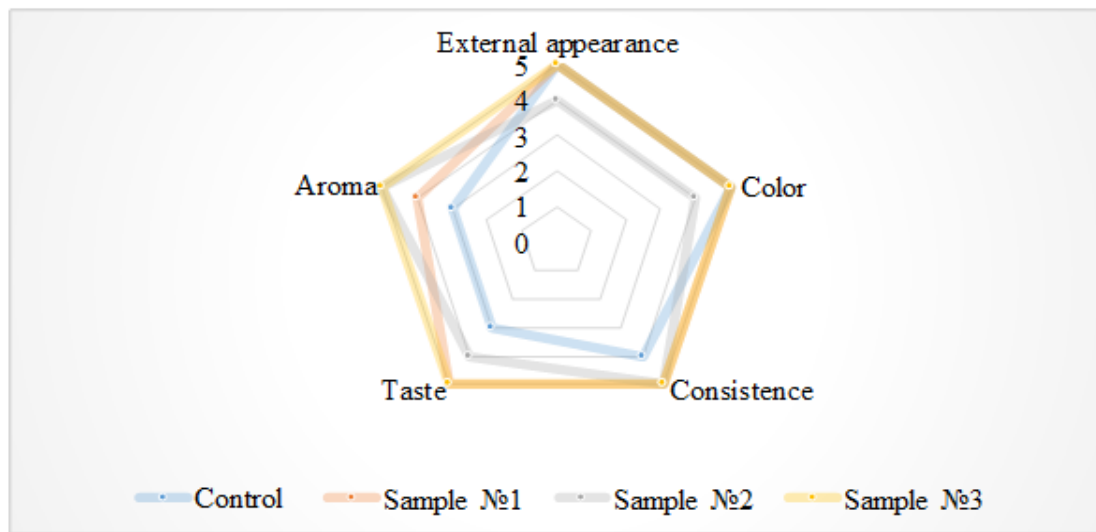


Figure 1. Organoleptic evaluation of mousse samples

It is clear that the developed samples of mousses differ in organoleptic evaluation. According to the results of organoleptic evaluation, sample №3 is the best, because its area is the largest, and control - the smallest.

For organoleptic evaluation, the flavor profile method was used. The concept of flavor is understood as the combined effect of taste properties, aromatic perception and tactile sensations in the oral cavity.

The method is based on the creation of a product flavor profile by the tasting commission by achieving agreement among all tasters at each stage of its development.

Identification of descriptors, assessment of their intensity, order of perception, aftertaste in the meat product are carried out under the guidance of the head of the commission.

The process of creating a flavor profile of a mousse product includes:

- selection and training of tasters, selection of products and preparation for the tasting;
- preliminary session for creating a flavor profile;
- formation of a descriptor dictionary and assessment of product characteristics;
- compilation of the final flavor profile and presentation of the evaluation results.

In order to study the taste of shrimp mousses, descriptors of the organoleptic profile were selected and the “ideal” organoleptic profile (standard) was determined.

To construct the “ideal” organoleptic profile, a consumer tasting was conducted to obtain data on the level of desirability of the intensity of the descriptors according to five samples of their intensity scale.

The results of the profile analysis of the palatability of shrimp mousses are given in table 5.

Table 5.
Profile analysis of the palatability of shrimp mousses

Descriptors	Intensity of characteristics, score				
	Standard	Shrimp mousse recipes			
		Control	№1	№2	№3
<i>Aroma and taste characteristics</i>					
Pleasant	5	4	4	4	5
Shrimp	4	3	3	3	4
Salt	3	2	4	2	3
Sweet	1	2	1	3	2
With a fishy taste	1	3	3	1	1
Bittersweet	0	1	0	1	0
Aroma and flavor of added plant materials	1	0	0	2	0
Harmonious	5	4	4	4	5
Spicy	4	2	4	4	5
<i>Consistency characteristics</i>					
Plastic	4	1	4	4	4
Gentle	5	4	4	4	5
Homogeneous	5	4	5	5	5
<i>Overall impression</i>	5,0	3,5	4,5	4,0	5,0

All samples have a pleasant taste, but sample No. 3 is the closest to the standard. It is most pronounced in sample No. 3. A fishy aftertaste is present in the control and sample No. 1, since they contain minced fish. A slightly bitter aftertaste is noticeable in samples No. 2 and the control. A vegetable aftertaste is present in sample No. 2, due to the presence of avocado and apple in its recipe.

A plastic consistency is observed in all samples, except for the control, since a

structuring gum was added there, which gave the product a more gel-like consistency, the same can be said about the uniformity of the consistency of the samples.

As a result of the assessment of the compatibility of ingredients in shrimp mousses using the flavor profile method, it was found that adding dairy products to minced shrimp, namely butter, cream, and cream cheese, improves the taste, appearance, and creates a delicate consistency of the mousse.

The taste and aroma indicators are improved by spices and vegetable curd, which we added according to the recipes.

The addition of black pepper, paprika, and garlic gives piquancy and originality to the taste.

Relevant organoleptic characteristics were confirmed by the results of physicochemical parameters. Physico-chemical parameters include salt content, penetration index, and water activity. These parameters significantly affect the quality of the product and its shelf life.

Thus, the salt content in the control is 2.5%, and in test samples 1 and 2 is 2.3%, which corresponds to the norm of 1.5-2.5%, according to the requirements of the standard.

To assess the consistency of the mousse, penetration measurements were performed and the shear stress was determined.

The ultimate shear stress was determined using a penetrometer Ulab 3-31 M, in accordance with GOST 30469 – 95.

The measurement results are given in tabl. 6.

Table 6.

Maximum shear stress of mousses (n = 3, p ≤ 0.05)

Name of samples	Maximum shear stress, Pa
Control sample	254,0
Sample №1	196,3
Sample №2	208,3
Sample №3	196,0

The results of the studies are shown in tabl. 6 show that the control sample is characterized by the highest value of the shear stress - 254 PA and, accordingly, has

the densest structure compared to the developed samples. Sample №1 has a limit voltage of 196.3 Pa, sample №2 - 208.3 Pa, sample №3 - 196 Pa.

One of the important physical and chemical indicators is water activity. This indicator determines the resistance of the product to damage. The higher the activity of water, the more favorable conditions for the reproduction of microorganisms, the higher the damage to the product by pathogenic microflora. According to this indicator, you can determine how perishable the product is, or vice versa.

Water activity index was measured using a highly sensitive device Hygro Palm HP23-AW (UK), according to DSTU ISO 21807. The activity of water in the finished product is shown in tabl. 7.

Table 7.

Mousse water activity

Name of samples	Water activity	Microorganisms that can develop
Control sample	0,967	Bacteria, mold, yeast
Sample №1	0,989	
Sample №2	0,981	
Sample №3	0,979	

According to tabl. 7, we conclude that shrimp mousses are perishable products, as the rate of water activity in shrimp mousses is high. The range of such values suggests that the product is a favorable environment for the development of microorganisms (bacteria, mold, yeast).

The main indicator of nutritional value is the chemical composition. Studies of the chemical composition have been performed according to the following methods: mass fraction of moisture – by drying the product sample to a constant weight in an oven SNOL at a temperature of 100-105°C according to DSTU 8029:2015; mass fraction of ash – by a weighting method, after the mineralization of a portion of the product in a muffle furnace SNOL at a temperature of 500–600°C according to DSTU 8718:2017; mass fraction of lipids – by the Soxhlet extraction-weight method according to DSTU 8718:2017 on the SOX 406 Fat Analyzer; mass fraction of protein

– by Kjeldahl method of the determination of a total nitrogen, which is based on the ability of organic matter of the product sample to be oxidized with concentrated sulfuric acid in the presence of a catalyst according to DSTU 8030:2015, while samples ashing has been performed on a DK6 digester, with a vacuum pump JP, distillation has been carried out on a steam distillation apparatus UDK 129. The results of studies of the general chemical composition of formulations are given in tabl. 8.

– **Table 8.**

– General chemical composition of recipes

Name of samples	Chemical composition, %			
	moisture	fat	protein	carbohydrates
Control sample	50±2,0	44±0,2	5±0,7	0,5±0,1
Sample №1	64,5±1,5	7,5±0,2	18,7±0,7	0,4±0,1
Sample №2	67,25±2,25	9,95±0,2	15,7±0,7	3,63±0,1
Sample №3	66,89±2,1	12,3±0,2	16,6±0,7	1,48±0,1

From the tabl. 8 shows that the highest moisture content in the recipe of sample №2, and the lowest in the control sample, the highest fat content in the control sample, and the lowest in the recipe №1, the protein content is highest in sample №1, and the lowest in sample №2, the highest carbohydrates the content in the recipe №2, in the control and sample № 1 the carbohydrate content is minimal.

The chemical composition determines the caloric content of the product, which is presented in fig. 2.

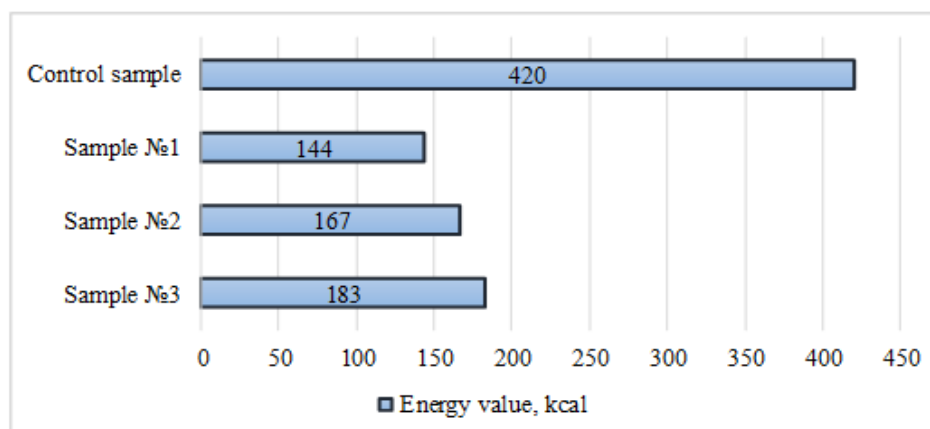


Figure 2. Comparative characteristics of the energy value of mousse recipes

It is estimated that the energy value of the control sample exceeds the

experimental ones, due to the fact that the bulk of the control formulation consists of butter and cream. Experimental samples have a much lower energy value, but the benefits are much greater, due to the high content of complete protein, the source of which is shrimp meat.

Based on the results of theoretical and experimental research, a technological scheme for the production of shrimp mousses has been developed (fig. 3).

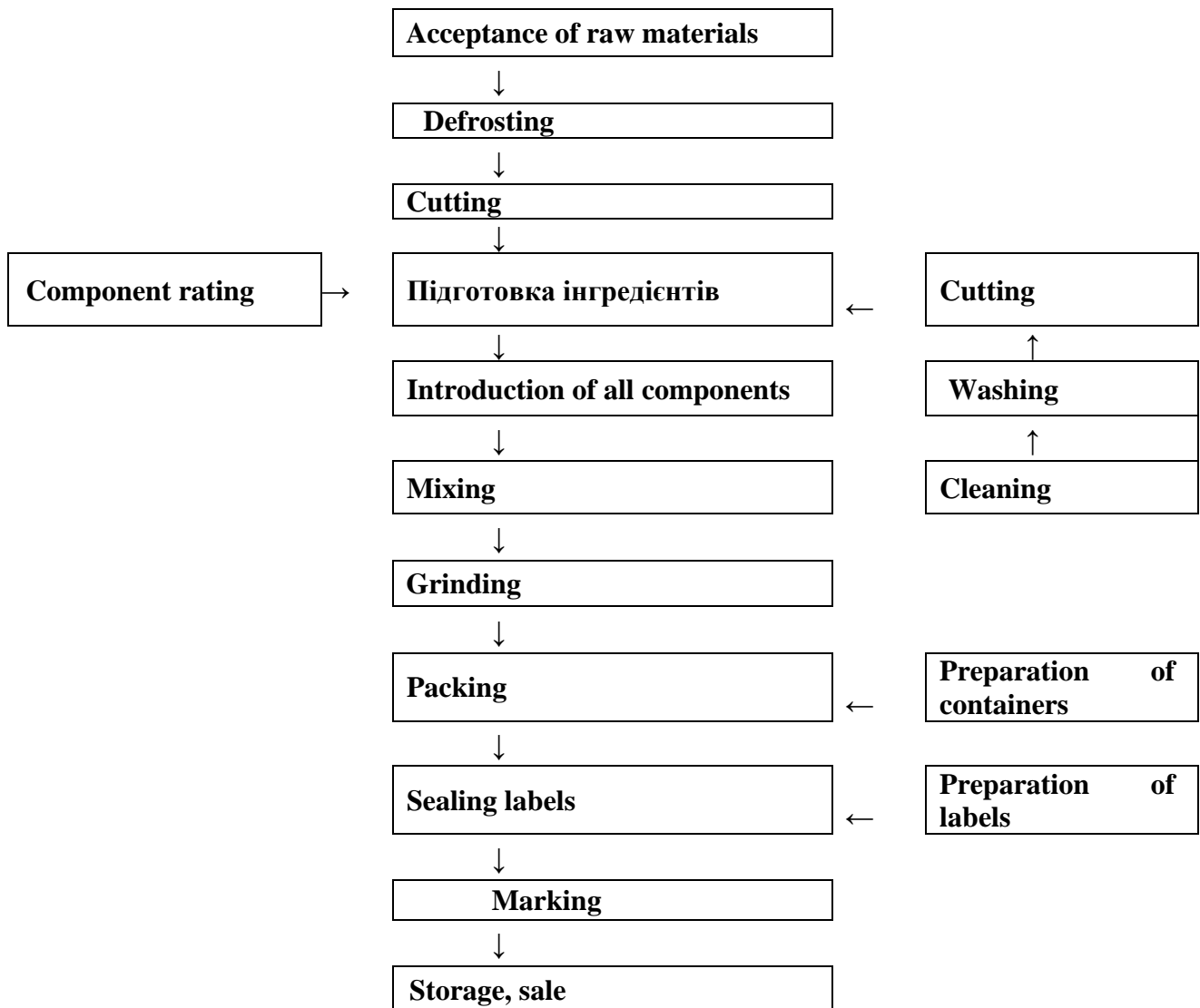


Figure 3. Technological scheme of mousse production

The main technological operations are preliminary preparation of fish and vegetable raw materials, mixing of ingredients according to the recipe, fine grinding, packaging.

Preliminary preparation of fish and vegetable raw materials consists of washing,

cleaning, and grinding. The main raw materials for the production of shrimp mousses are boiled-frozen shrimps, both with and without shells. Each batch of frozen products must be accompanied by a document of the established form, certifying its quality.

Shrimp are thawed in air at a temperature of 18-20 °C for two hours, or in water at a water temperature of 15 °C and washed.

The choice of the defrosting method was made based on a study of the moisture-retaining capacity of minced meat using different defrosting methods. As a result of studying different methods of defrosting boiled-frozen shrimps, the following indicators were obtained: microwave oven - 76.9%; in water - 77.5%; at room temperature - 75.25%.

Figure 4 shows the dependence of moisture retention capacity on the defrosting method.

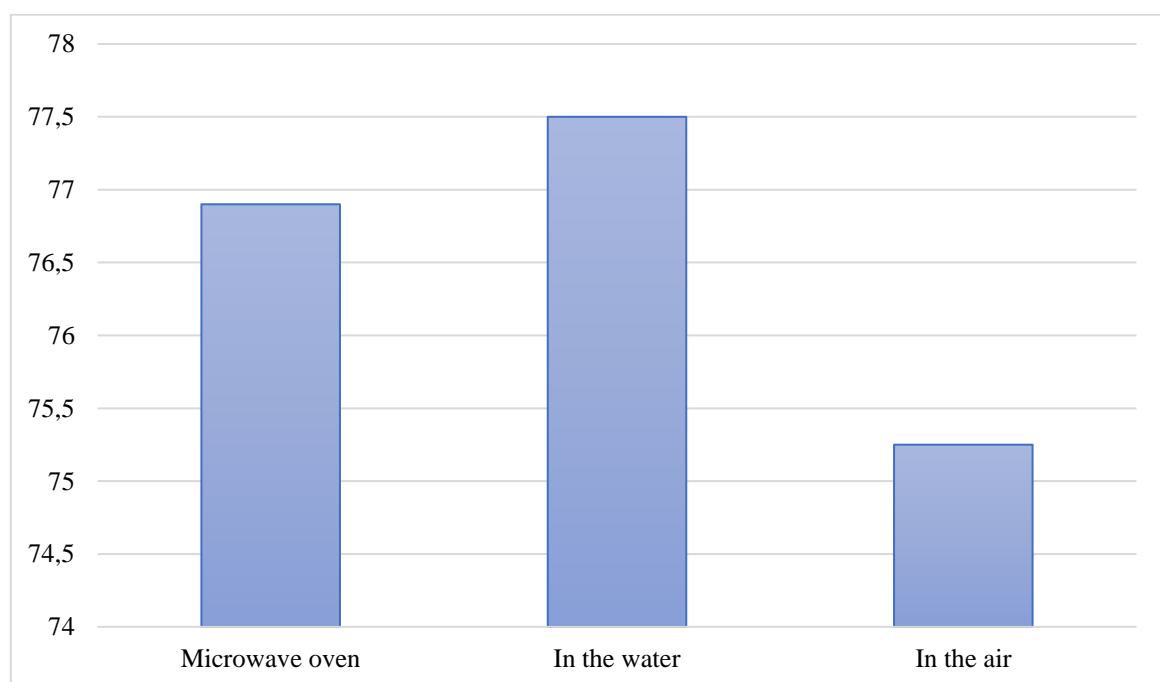


Figure 4. Dependence of moisture retention capacity on the defrosting method

According to studies, the results of which are presented in figure 4, the highest moisture retention capacity is achieved when defrosting in water, and the lowest when defrosting in air at room temperature.

For sorting, the shrimp are sent to a separator, washed under a powerful water pressure, then transferred to a distribution tray on a conveyor belt. The shrimp meat,

peeled from the shell, is sent to a special screen equipped with rotating rollers and grates. At this stage, the shrimp are further cleaned, particles of shells and films are removed through the holes in the grates, allowing the peeled shrimp meat to move further.

When making the mousse recipes we have developed, it is necessary to additionally wash and cut the apples and avocados. All auxiliary components also require additional preparation: cream, butter, olive oil, paprika, ground pepper, salt, garlic - grinding, weighing, dosing.

The prepared ingredients are mixed in the appropriate recipe ratio. The components are combined using a mixer.

Grinding and homogenization of the mixture to a homogeneous finely ground mass is carried out in a cutter. The consistency should be uniform and without compacted grains.

In order to choose a rational method of grinding, it was investigated how the degree of grinding affects the value of moisture-holding capacity.

The lowest indicator is in medium-sized minced shrimp with particles of at least 1 mm in size. The moisture-holding capacity increases with a particle size of more than 1 mm, this is due to a decrease in the degree of damage to the initial structure of muscle tissue. At a size of less than 1 mm, a decrease in the indicator is also observed, since the destruction of small fractions of proteins that are soluble in water and swell in the process of binding water occurs. With fine grinding, the homogenized mass is more tender, the consistency becomes more viscous, which gives the product an aesthetic appearance and structure.

The prepared mass is immediately transferred to packaging, without holding the mass for more than 30 minutes. The mousses are packaged by machine in polymer consumer containers "for sealing" with aluminum foil lids. The container must be clean, strong and dry, weighing from 0.1 to 0.5 kg.

Marking is carried out in accordance with DSTU 4518-2008.

Store the finished product at temperatures from -2 to +2 °C for no more than 72 hours from the date of manufacture.

Food quality is a set of product properties that determine its suitability to meet certain needs in accordance with the purpose. The quality of any food product is determined by its characteristic properties, which are called quality indicators.

Shelf life was determined by the dynamics of changes in the complex of organoleptic, physicochemical and microbiological indicators.

The results of studies of organoleptic characteristics of the product during storage for 72 hours are shown in fig. 5.

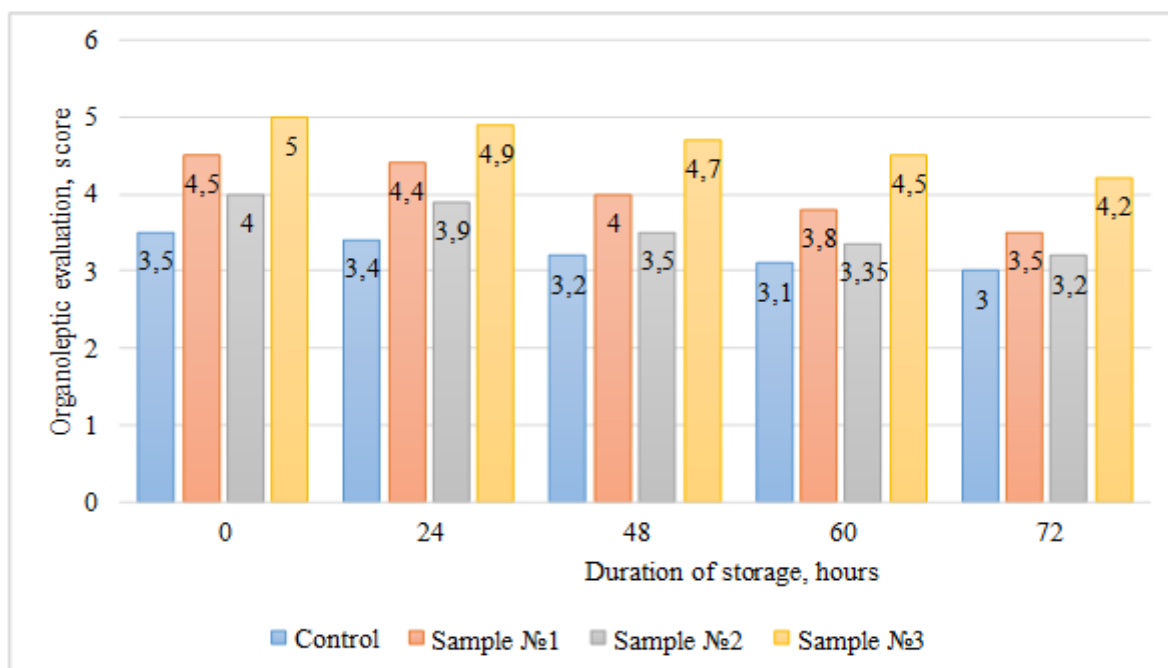


Figure 5. Organoleptic evaluation of shrimp mousses during storage

Fig. 4 shows that gradually during storage mousse products reduce their organoleptic characteristics.

Acid and peroxide values are important indicators that must be determined during storage. The acid number of lipids was determined according to DSTU 4350: 2004 (ISO 660: 1996, NEQ), DSTU 4560: 2006. Peroxide number of lipids, according to DSTU 4570: 2006, DSTU 4560: 2006.

Acid number is the amount of caustic potassium required in milligrams to neutralize free fatty acids. The acid number depends on the quality of raw materials used for production, methods and modes of its production, conditions and duration of storage of the product. The presence of lipid oxidation processes in the initial stages

characterizes the peroxide value.

Fig. 6 and 7 show the changes in peroxide and acid numbers during storage.

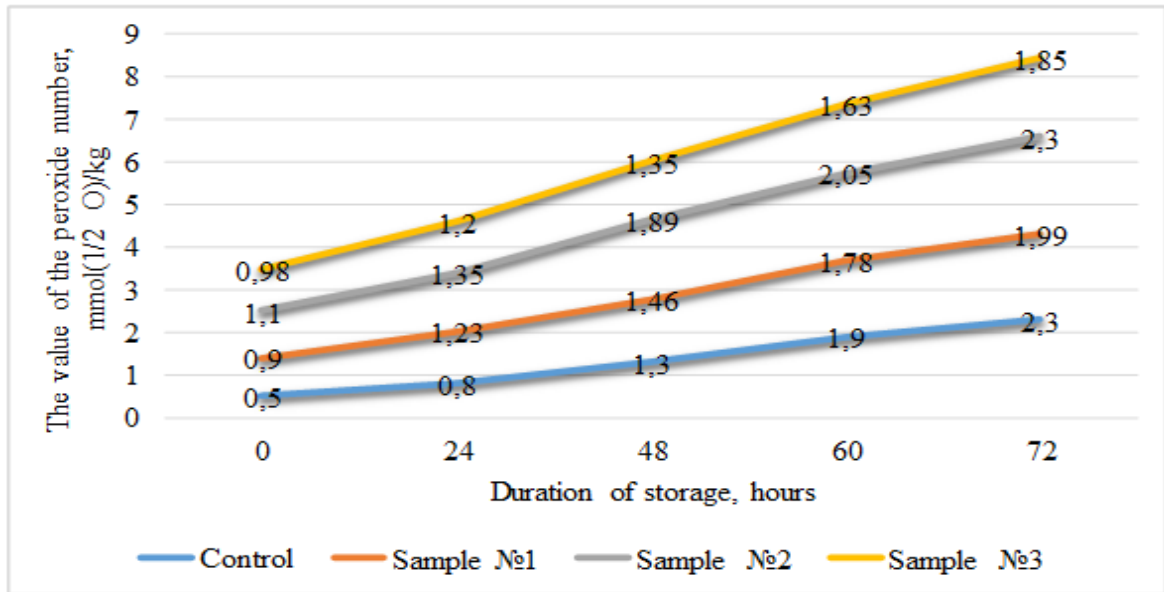


Figure 6. Dynamics of lipid peroxide values in shrimp mousses

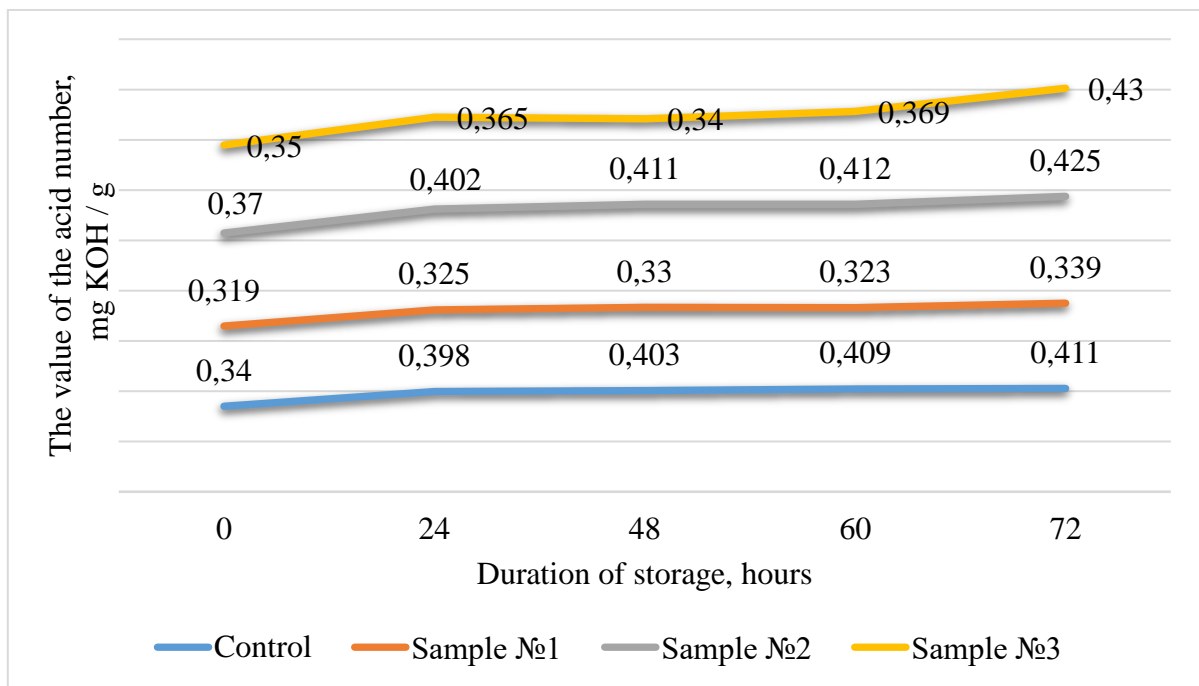


Figure 7. Dynamics of lipid acid counts in shrimp mousses

In fig. 5 and 6 we can see that the indicators of acid and peroxide numbers during storage gradually increase, but these indicators, even at the end of the storage period are within acceptable limits.

The degree of microbiological processes and proteolysis was studied by changes in the total volatile basic nitrogen contents (TVBN). The total volatile basic nitrogen

contents bases increases during storage under the action of enzymatic processes and the activity of microorganisms and is accompanied by the breakdown of amino acids to form ammonia, mono-, di- and trimethylamines. The total volatile basic nitrogen according to GOST 7636– 85. The dynamics of TVBN content during storage is shown in fig. 8.

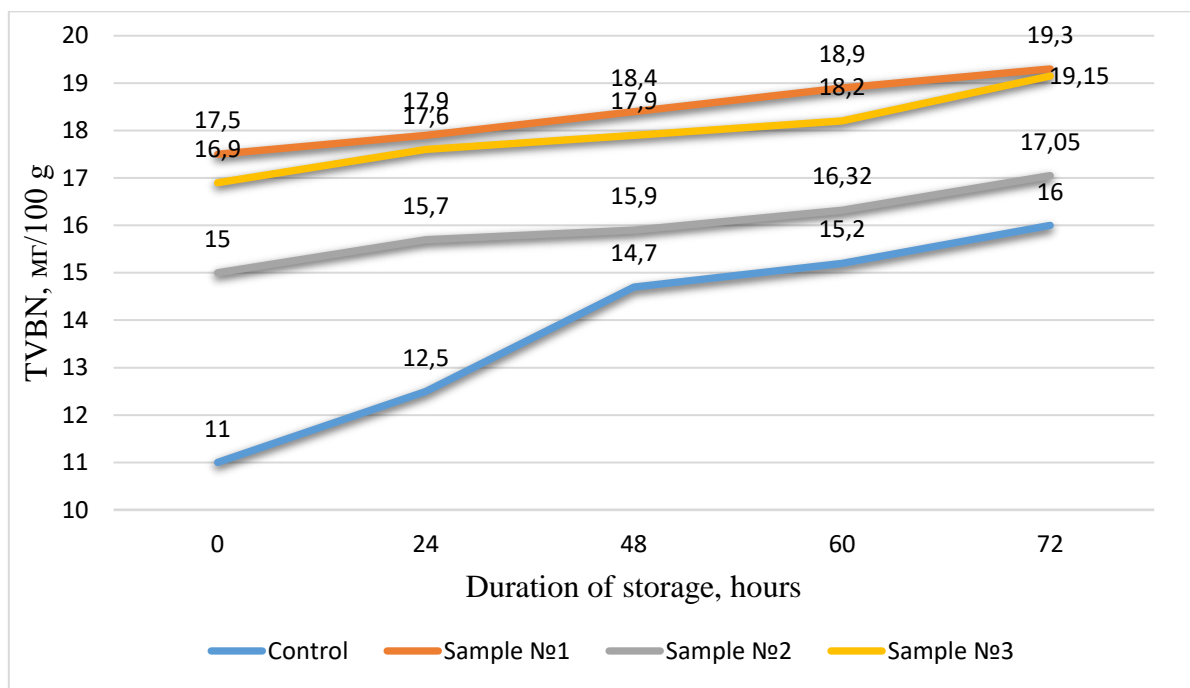


Figure 8. Changes in TVBN indicators during mousse storage

Fig. 7 shows that at the expiration date of the product, ie after 72 hours, the content of TVBN in the control sample 16 mg %, in sample №1 – 19.3 mg %, in sample №2 – 17.05 mg %, in sample № 3 - 19.15 mg g % at the permissible level of 30 mg %.

The quality and safety of shrimp mousses were determined according to microbiological quality indicators. The state of the microbiological composition of shrimp mousses directly depends on the initial state of the microflora of raw materials, on the microbiological and sanitary condition of equipment and the enterprise as a whole, on compliance with sanitary norms of employees.

The raw materials may contain microorganisms of the families Pseudomonas, Micrococcus, Achromobacter, Flavobacterium, Bacillus, Aeromonas, Cytophage, Vibrio, and yeast and mold fungi. Staphylococcus aureus may be found in oil, especially in unrefined oil, which contains protein particles. The quantitative and species diversity of the microflora of plant raw materials is very diverse. Therefore,

these ingredients require careful processing, washing and cleaning.

The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms was determined in accordance with DSTU 8446:2015; bacteria of the Escherichia coli group, according to DSTU GOST 30726: 2002; Staphylococcus aureus, according to GOST 10444.2-94; pathogenic microorganisms, including genus Salmonella, according to DSTU ISO 11290-1, DSTU ISO 11290-2.

The quality of shrimp mousses according to microbiological indicators when stored for no more than 72 hours is given in table 9.

– **Table 9.**

Changes in microbiological parameters of mousses during refrigerated storage

Indicators	Shelf life, hours	Control	Sample №1	Sample №2	Sample №3	Permissible level
MAFAnM, CFU/g	0	$(2,3 \pm 0,11) \times 10^2$	$(3,3 \pm 0,14) \times 10^2$	$(5,1 \pm 0,13) \times 10^2$	$(3,1 \pm 0,13) \times 10^2$	no more $2 \cdot 10^5$
	24	$(3,0 \pm 0,13) \times 10^3$	$(3,8 \pm 0,10) \times 10^3$	$(7,6 \pm 0,13) \times 10^3$	$(2,8 \pm 0,13) \times 10^3$	
	48	$(3,6 \pm 0,14) \times 10^4$	$(4,4 \pm 0,20) \times 10^3$	$(5,3 \pm 0,13) \times 10^4$	$(3,3 \pm 0,13) \times 10^4$	
	60	$(5,6 \pm 0,15) \times 10^4$	$(5,3 \pm 0,13) \times 10^4$	$(8 \pm 0,15) \times 10^4$	$(6 \pm 0,15) \times 10^4$	
	72	$(7,5 \pm 0,16) \times 10^4$	$(6,9 \pm 0,15) \times 10^4$	$(9,8 \pm 0,17) \times 10^4$	$(7,7 \pm 0,17) \times 10^4$	
Escherichia coli, in 0.1 g	0-72	not detected				not allowed
S. aureus, in 0.1 g	0-72	not detected				not allowed
Salmonella, in 25 g	0-72	not detected				not allowed
L. monocytogenes, in 25 g	0-72	not detected				not allowed
Proteus, in 0.1 g	0-72	not detected				not allowed

The results of research show that at the initial stage of storage, sample №2 is characterized by a higher degree of microbiological contamination compared to other samples, due to the addition of vegetable raw materials to the product. When storing mousses for 24 hours, the number of microorganisms increases in all samples. In sample №3 the amount of mesophilic aerobic and facultative anaerobic

microorganisms (MAFAnM) is less than in other samples, due to the bactericidal properties of garlic. As of 72 hours of mousse storage, MAFAnM values are acceptable for product suitability, but close to the limit.

Bacteria of the *Escherichia coli* group, *Staphylococcus aureus* and *Proteus* were not detected in 0.1 g of test samples.

Pathogenic microorganisms, including *Salmonella* and *L. monocytogenes*, were absent in 25 g in all mousse samples.

Therefore, based on microbiological and organoleptic parameters, the allowable shelf life at a temperature of 0 to + 5°C for mousses is not more than 72 hours.

Conclusions. Based on the results of theoretical and experimental research, the recipe and technology of shrimp-based mousses with the addition of animal (milk cream, cream cheese) and vegetable raw materials (olive oil, apples, avocados) have been improved.

Based on the techno-chemical characteristics of shrimp, the feasibility of their use in the technology of mousse culinary products from hydrobionts was confirmed.

The technological scheme of mousse production has been developed, which includes preliminary preparation of raw materials, fine grinding of the mixture and packing of the finished product.

A study of organoleptic, physicochemical, quality indicators and chemical composition of finished products. Based on the research results, the compliance of the indicators with the requirements of the standard has been established. According to organoleptic indicators, the highest score was obtained by sample №2. The salt content in the test samples and control corresponds to the norm - 1.5-2.5%. All samples have the appropriate mousse consistency, and the value of the shear limit stress of the control sample (254.0 Pa) exceeds this indicator of the experimental samples (196.0–206.3 Pa), which indicates a denser control structure compared to the developed samples. High values of water activity index (0.967-0.989) confirm that shrimp mousses are perishable products.

Analysis of the results of research on the chemical composition shows that the experimental samples of mousse are characterized by high nutritional value due to the

significant protein content.

The shelf life is set to 72 hours when refrigerated at a temperature of $-6\dots-4^{\circ}\text{C}$ from the moment of manufacture.

Therefore, improving the technology for producing shrimp mousses with the addition of animal and plant components allows for a product with high taste properties, nutritional value, as well as high quality and safety during the established shelf life.

SECTION 8. INFORMATICS, COMPUTING AND AUTOMATION

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.8.1

8.1 Accelerated encryption of graphic images

Improving the performance of encryption [190-195] of graphic information is an important aspect of modern cybersecurity. With the ever-increasing volume of graphic data, such as images and videos, requiring storage and transmission over the network, the need to ensure their confidentiality and integrity is becoming increasingly important. Effective encryption helps protect graphic data from unauthorized access and manipulation, which is critical for many industries, such as healthcare, financial services, and government. For example, in the medical industry, images obtained from scanners and other diagnostic tools contain sensitive information about the health of patients that must be protected in accordance with privacy regulations.

Improving encryption performance not only ensures data security, but also optimizes storage and transmission processes. Fast and efficient encryption helps reduce data processing time and reduce the load on network resources, which is especially important for systems with a large amount of graphic content, such as video surveillance and remote medical consultation.

One way to improve encryption efficiency is to use hardware accelerators, such as GPUs, which allow for parallel processing of data. There are also special algorithms, such as AES in CBC or ECB modes, that work effectively with large amounts of images. In addition, data compression can reduce their size before encryption, which also helps speed up the process. Parallel encryption of multiple image segments simultaneously on different processors or machines can also significantly reduce processing time. In addition, cloud resources can be used to process large amounts of data, providing scalability and flexibility in resource management. All of these approaches can be integrated to create an effective encryption system that can protect visual data from unauthorized access.

To improve the efficiency of image encryption, techniques such as selective encryption, which encrypts only sensitive parts of the image, can be used. This reduces processing time and optimizes resource usage. Encryption can also be integrated with image file formats such as JPEG or PNG, which allows the encrypted data to be embedded without significantly increasing the file size. Using a distributed architecture, which allows the encryption process to be distributed across multiple systems on a network, can reduce the load on individual servers and increase scalability for processing large data sets. Real-time encryption, which encrypts images at the time they are created or transmitted, provides a high level of security, especially in live video surveillance systems or in direct communications. These strategies can be used individually or in combination to create a more efficient and secure encryption system, which also helps improve the overall performance of the data processing system.

In addition to the above approaches, it is important to consider the use of modern cryptographic protocols that provide both encryption and authentication of data, for example, protocols based on elliptic curves or RSA. This helps not only to encrypt images, but also to ensure their immutability during transmission or storage. Additionally, to ensure a high level of security, steganography methods can be used, which allow you to embed secret messages in images in such a way that external changes are almost imperceptible. These methods can be especially useful in cases where it is necessary to hide the fact of transmitting encrypted information. Taking into account all these aspects will allow you to create a comprehensive system for protecting graphic data that can withstand modern challenges in the field of cybersecurity and provide reliable protection against unauthorized access and manipulation of important data.

Implementing and updating robust key management protocols and using multi-level authentication systems can significantly improve the security of encrypted graphics data. Completing a holistic security strategy requires consideration of both the technical aspects of encryption and organizational measures aimed at ensuring the integrity, availability, and confidentiality of information over the long term.

The use of graphics processing units (GPUs) for encrypting graphics images is becoming increasingly popular due to the GPU's ability to efficiently process large amounts of data and perform parallel computations.

GPUs consist of a large number of cores that can process data simultaneously. This allows many image pixels to be encrypted at once, greatly speeding up the overall encryption process.

NVIDIA's GeForce gaming lineup includes models like the RTX 3090 with around 10,496 CUDA cores, as well as more affordable models like the RTX 3060 with around 3,584 CUDA cores. NVIDIA also offers professional-grade Quadro and Tesla series GPUs that can have even more cores for specialized tasks. AMD's Radeon series graphics cards also have a large core count, with the Radeon RX 6900 XT having around 5,120 stream processors.

GPUs have high-speed memory with high bandwidth, which is optimal for processing large graphics files without significant latency. Many modern encryption algorithms can be optimized for execution on GPUs. For example, algorithms that use large matrix operations or can be broken down into small independent tasks are ideally suited for GPUs. There are numerous libraries and frameworks that simplify the use of GPUs for encryption, such as CUDA and OpenCL. These technologies allow developers to directly use the hardware capabilities of the GPU to accelerate cryptographic algorithms.

While GPUs are incredibly powerful for processing data, they also have some security limitations, including storing encryption keys in vulnerable locations. Therefore, it is important to properly manage the security of keys and data when using GPUs.

Encrypting images on the GPU can significantly increase processing speed due to parallel processing. Here are some examples of techniques and approaches for encrypting images using the GPU: AES (Advanced Encryption Standard) on the GPU: AES is a widely used symmetric block cipher. It can be adapted to run on the GPU, where each image block is processed by a separate thread. This provides a significant speedup compared to processing on the CPU. Encryption using CUDA or OpenCL:

Using the CUDA or OpenCL frameworks allows you to develop your own encryption algorithms that are optimized for parallel processing. For example, you can develop encryption based on pixel permutations within image blocks, where each pixel is processed by a separate thread.

Homomorphic encryption allows computations to be performed on encrypted data without the need to decrypt it. On GPUs, this can be implemented for parallel processing of large images, allowing complex computations such as changing brightness or contrast on encrypted data. Fractal encryption: Fractal encryption uses iterative algorithms to encode images that can be efficiently implemented on GPUs. Each thread can process a portion of the image, using fractal transformations to change the structure of the image. Pixel encryption: One approach to encrypting images on GPUs is to use encryption of individual pixels or groups of pixels. Different encryption algorithms can be used, such as encryption by generating pseudo-random numbers that determine how to change the color values of pixels. These approaches can be implemented in different software environments, and the choice of a specific technology depends on the needs of the project and the available hardware. Designing image encryption on GPUs requires a deep understanding of both cryptography and parallel computing architecture.

Using texture shaders on the GPU to encrypt image data by transforming texture coordinates or modifying color channels. This can include permuting or changing textures based on cryptographically strong algorithms, ensuring the security and privacy of the processed images.

Dividing the image into blocks and encrypting each block separately using an encryption algorithm, allowing for maximum GPU power. This method is very efficient for processing large images, as each block can be processed independently, reducing processing time.

Using GPUs to generate cryptographic images, which can be useful for image version control systems or for verifying the integrity of images before encryption and after decryption. This helps ensure that the image has not been altered during transmission or storage. Implementing image encryption on GPUs in a cloud

environment, where GPU-accelerated servers can encrypt and decrypt images on the fly, ensuring the security of data being transmitted or stored in the cloud. Encrypting real-time video streams using GPUs to secure video conferencing or streaming services. The GPU can encrypt the video stream before it is transmitted, ensuring privacy and protection against unauthorized access. These techniques leverage the power of GPU parallel computing to provide efficient and secure image and video encryption, which is essential in today's applications where speed and security are critical.

Transform-based algorithms for encrypting graphics images use mathematical transformations to convert the pixel values of an image into another form that is suitable for cryptographic operations. These techniques can effectively reduce the amount of data that needs to be encrypted and improve the image's protection against attacks based on statistical analysis. Here are some of the main transforms used in image encryption.

The Fourier transform translates an image from the spatial domain to the frequency domain, representing the image as a sum of sine and cosine waves of different frequencies. Encoding in the frequency domain can be more efficient because it allows you to focus on the important frequency components of the image while ignoring the less important ones.

Wavelet transforms are often used for data compression, but they can also be used for encryption. Wavelet transforms an image into components of different sizes and levels of detail, allowing only the important components to be encrypted, which reduces the amount of encryption and improves performance. Using wavelet transforms in GPU-accelerated graphics encryption can improve the efficiency and security of data processing. Wavelet transforms an image into layers containing details from the highest to the lowest frequencies. This transform divides the image into sub-images (approximations and details) that can be processed separately. The resulting wavelet coefficients from each layer can be encrypted separately, allowing different levels of security to be applied to different parts of the image. For example, only high-frequency details that contain important information about edges and textures can be

encrypted. The transformation and encryption of wavelet coefficients can be performed in parallel using the GPU, which significantly increases processing speed. GPUs can efficiently perform the parallel mathematical calculations required for wavelet transforms. Wavelet transforms can be combined with other encryption techniques, such as scrambling or cryptographic hash functions, to increase the overall security of the system. This allows for multi-layered security, where each level of wavelet decomposition can have its own encryption scheme.

Wavelet transforms allow for precise image analysis at different levels of detail, which makes it possible to optimize the encryption process. The ability to choose which coefficients to encrypt allows for a balance between security and computing power requirements. GPUs are ideally suited for performing wavelet transforms and encryption due to their ability to perform parallel operations, reducing overall processing time. These characteristics make wavelet transforms an ideal choice for implementation in GPU-accelerated graphics encryption systems, providing high speed and flexibility in protecting digital data.

The cosine transform is popular in JPEG compression, while the DCT transforms blocks of an image from the spatial domain to the frequency domain, similar to Fourier transform but using only cosines. Encrypting the DCT coefficients allows the visual integrity of the image to be preserved after decryption, while leaving less important components unencrypted, which facilitates faster encryption.

Scrambling, or permutation, is an important element in the process of encrypting graphics images, especially when it comes to GPU-accelerated encryption. This technique is used to change the position of pixels or blocks of pixels in an image in order to obfuscate the information before the actual encryption is applied. This makes the image less readable or recognizable before it is fully encrypted. Consider GPU scrambling. The image can be divided into blocks (e.g., 8x8 pixels), and each block can be independently scrambled. This allows the GPU to process each block in parallel, which greatly increases processing speed. The permutation algorithm can be applied to each block or pixel within a block. These can be random permutations or defined by a mathematical function that provides a high degree of distribution and difficulty of

cracking. Application of cryptographic algorithms: After the blocks or pixels are permuted, standard encryption such as AES or other AI algorithms can be applied. The GPU allows these operations to be performed quickly due to its parallel processing capabilities. Scrambling can be optimized on the GPU using various techniques, including the use of texture shaders or computational shaders, which can perform complex mathematical transformations on large data sets at high speed.

GPUs can process large amounts of data in parallel, making them ideal for tasks that require fast processing of large amounts of graphical information. Scalability: Algorithms can easily scale to handle very large images or even video streams. GPUs are suitable not only for encryption, but also for implementing various graphical and computational tasks, making them a valuable resource in many applications. These scrambling methods can effectively provide an additional layer of security over the actual cryptographic encryption.

Homomorphic encryption allows computations to be performed on encrypted data without decrypting it, which is important for privacy protection in areas where data must be kept secret, such as cloud computing. The use of homomorphic encryption for image processing can include image processing for medical or security purposes. The processing process begins by converting the image to a numerical format, which is then encrypted. After this, various computations can be performed, such as image enhancement or edge detection, without decrypting the data. The process ends with decrypting the results to obtain the processed image. However, the application of homomorphic encryption can be difficult due to the high computational cost and the need to develop specialized algorithms, but research in this area is actively ongoing.

Accelerated selective encryption of graphics images is a technology that allows you to encrypt only important parts of an image, significantly reducing processing time and computing resource requirements compared to full encryption. This can be useful for large image datasets or real-time video streams where processing speed is critical. This approach typically involves analyzing images to identify "regions of interest" that may contain sensitive or important information and then encrypting them, while other less important areas of the image can be left unencrypted. This not only saves time and

resources, but can also help to ensure a balance between security and data processing efficiency.

The technique can use various encryption methods, including symmetric and asymmetric ciphers, depending on the security needs and implementation. The application of this approach is in areas where fast processing of large amounts of data is required, such as video surveillance, medical images, or when working with confidential documents containing graphic data.

Selective encryption can also have applications in the mobile technology industry, where resource constraints make it impossible to fully encrypt large amounts of data. In such a context, selective encryption algorithms allow for a balance between security and processing costs by encrypting only those parts of images that contain important information, such as faces, license plates, or other AI identifying markers.

There are several approaches to implementing selective encryption. One is a mask-based method, where a mask is created for each image to define the areas to encrypt. Another approach uses significance analysis to dynamically determine the parts of the image that need to be protected.

Consider accelerated selective encryption techniques

The image is analyzed to identify areas with high information content or importance. Only these areas are encrypted, while other parts remain unencrypted or are encrypted with a lower level of security.

In the case of a face, you can encrypt only the eyes or other important features. This approach reduces the amount of data to encrypt and speeds up the entire process.

Machine learning algorithms can be used to automate ROI selection or to determine which parts of an image contain sensitive information that needs to be encrypted.

Encryption can be adapted depending on network speed or bandwidth requirements. On low-bandwidth networks, you can encrypt smaller parts of the image to save bandwidth.

Data encryption can be accelerated using specialized hardware, such as GPUs or FPGAs, which can quickly process cryptographic algorithms.

Using artificial intelligence (AI) to accelerate image encryption can significantly improve the efficiency and speed of this process. AI, especially machine learning and deep learning, can be used to optimize image encryption and processing algorithms. For example, neural networks can adapt the encryption process to the specific characteristics of images, providing greater encryption efficiency and reducing processing time.

One approach is to use convolutional neural networks (CNNs), which efficiently process images for classification and analysis. These networks can be trained to perform encryption tasks, where they learn to recognize and optimize patterns in image data before encryption. This may involve reducing the size of the data or pre-processing the images to improve the efficiency of encryption algorithms.

AI can also help automate the selection and configuration of encryption settings based on image type and security requirements. This is especially useful in multi-user systems where encryption settings need to be dynamically changed based on specific context or user requirements.

Additionally, using AI to optimize encryption can include developing intelligent systems that detect and adapt to external threats, providing higher levels of security through predictive models and adaptive encryption. This opens up new possibilities for data protection in today's technology ecosystems, where security and privacy demands are rapidly increasing.

AI can analyze large amounts of data to identify potential breaches or weaknesses in encryption, allowing for rapid adjustments to strengthen protection. This is especially important in systems where image processing is performed at high speed, such as in video surveillance systems or telemedicine.

Adaptive AI-based encryption systems can automatically select the level of encryption depending on the context of the image's use. For example, images transmitted over less secure channels can be encrypted with a higher level of protection, while data stored in a more secure environment may require a lower level of encryption. This allows for an effective balance between security needs and processing efficiency.

In addition, the use of AI allows for the integration of more sophisticated encryption algorithms that can be dynamically optimized during processing.

AI can be used to analyze data access patterns and determine the optimal time to encrypt or decrypt images based on anticipated need. This allows the system to stay one step ahead of potential requests, reducing response times and improving overall system performance.

AI can learn the context of image usage and automatically adapt the level of encryption according to the risk level and importance of a given image. For example, images transmitted over insecure channels can be encrypted with a higher level of security.

Integrating data compression with encryption can be automated using AI to achieve maximum efficiency. AI can determine which parts of an image can be compressed more without losing important information, while encrypting them for security.

GANs can be used to create encrypted images that look like regular images when viewed normally, but contain hidden information that is only accessible with the appropriate keys. This opens up new possibilities for steganography and secure data exchange.

AI can analyze existing cryptographic protocols for vulnerabilities and automatically suggest improvements or warn of potential attacks, increasing overall encryption security.

Modification of existing image encryption methods can significantly improve their efficiency and security.

The fusion of symmetric and asymmetric encryption can provide a balance between security and speed. Symmetric encryption can be used to encrypt the image itself due to its speed, while asymmetric encryption can protect the encryption keys used for the symmetric method.

Modify selective encryption so that different areas of the image are encrypted with different levels of intensity depending on their importance and sensitivity. This

can be implemented using machine vision algorithms to automatically identify areas of interest.

Modification of encryption methods using wavelet transform for deeper analysis of images and their subsequent encryption at the level of wavelet coefficients. This allows encrypting only those parts of the image that contain the most important information.

Quantum encryption opens up new possibilities for securing graphics images, thanks to the features of quantum mechanics, such as unpredictability and the impossibility of copying states. This makes quantum encryption suitable for protecting data from attempts at interception or modification.

Accelerated quantum image encryption uses quantum properties to generate encryption keys and protect transmitted data. One key technology is quantum cryptography, specifically the quantum key distribution protocol known as BB84, which allows two parties to securely exchange encryption keys using quantum bits, or qubits, which have the property of entanglement.

The essence of quantum image encryption is to use the unique properties of quantum particles, such as entanglement and superposition, to create secure communication channels. The main method of quantum encryption, quantum key distribution (QKD), provides a way to securely exchange cryptographic keys between two parties without the risk of their interception. In QKD, each bit of the key is encoded in a quantum state (qubit), which can be represented by the polarization of a photon or its direction of rotation.

One of the key properties of quantum particles is that measuring a quantum state necessarily changes that state. This means that any attempt to intercept the qubits during transmission will destroy the information, making the interception attempt detectable. If a distortion is detected during key transmission, it signals possible tampering, and the transmission can be aborted or repeated, providing a high level of security.

Additional techniques, such as qubit entanglement, allow the use of links between particles to further increase security. Entangled qubits react to each other

regardless of distance, so any tampering with one qubit will immediately affect its entangled partner, which can also be detected.

Additionally, quantum algorithms, such as Grover's quantum algorithm, can be used to search large databases much faster than classical algorithms. This has the potential to significantly improve the search and extraction of encryption keys for images, which can be integrated into image processing systems to provide more efficient and secure processing.

Thus, quantum encryption opens up new prospects for ensuring extreme security in the field of processing and transmitting graphic images, and the development of quantum technologies and their integration into modern communication systems can radically change approaches to ensuring confidentiality and data protection.

Chaos theory [193], which studies complex and unpredictable behavior of systems, can be applied to improve the efficiency and security of image encryption. The application of chaotic algorithms to image encryption has several advantages, including high processing speed and complexity, which makes it difficult to break the cipher.

The basic idea is to use chaotic maps, such as the logistic map or Bernoulli map, to generate pseudo-random keys that are used to encrypt image pixels. Chaotic systems are sensitive to initial conditions, so even small changes in the input image or key result in a significant difference in the encrypted output, which increases the security of the encryption.

Encryption occurs in several stages. The first stage involves transforming the image pixels using random values generated using the encryption key. The next stage involves permuting the pixels using another random algorithm, which provides an additional level of security. The result is an image that is significantly different from the original and has a high level of randomness.

This method is effective for real-world applications due to its speed and high resistance to brute-force attacks, making it an attractive choice for modern encryption systems, especially in the field of digital image security.

Among the methods of chaotic encryption of graphic images, several approaches stand out. The first method is to transform pixel values using chaotic maps, such as the logistic map or the Bernoulli map. These maps generate pseudo-random values that are used to modify pixels, thus providing data encryption.

The second method involves chaotic permutation of image pixels, where the order of pixels is changed randomly according to generated chaotic sequences. This increases the unpredictability of the encrypted image and makes it more difficult to analyze.

A third popular method is to combine chaotic transformations with conventional encryption algorithms, such as symmetric or asymmetric encryption algorithms. This approach combines the high speed and efficiency of chaotic encryption with the strength of standard cryptographic methods.

There is a method based on the use of chaotic neural networks, which allows you to adapt encryption parameters depending on the characteristics of the input image. Neural networks can learn optimal encryption methods based on previous experience, thereby increasing the efficiency and security of the process.

There are also several other chaotic image encryption methods worth mentioning. One such method is the use of multidimensional chaotic maps, which are capable of generating more complex chaotic sequences and are applicable to encrypting large, high-resolution images. These maps can effectively scale up encryption without significantly sacrificing processing speed.

Another method is to use inverse chaotic maps for encryption, which involve the reverse decoding process, thus allowing for more reliable and robust ciphers. This is especially important in environments where images need to be protected from high risks of tampering.

Cascading encryption, which uses successive layers of chaotic encryption, each using different keys or algorithms, is also being considered. This approach provides a deeper level of protection and increases the complexity of the cipher, making it more resistant to attacks.

Image encryption protects the confidentiality of visual information by converting it into a form that can only be decrypted with the appropriate key. This method is used in a variety of areas, from personal security to commercial applications, ensuring the security of image transmission over insecure networks. The effectiveness of image encryption depends on the encryption algorithm and the size of the key, which affects the difficulty of decryption without the appropriate key.

8.2 Реалізація мережевих вимірювальних модулів на базі малорозрядних мікроконтролерів

Особливості організації інформаційно-вимірювальних систем на основі стандарту LXI.

Використання в вимірювальних пристроях відкритих комунікаційних стандартів спрощує завдання інтеграції в інформаційно-вимірювальні системи, забезпечує сумісність з обладнанням відомих світових виробників. Розробка таких пристроїв на основі 8-розрядних мікроконтролерів дозволяє оптимізувати їх вартість та енергоефективність, прискорити та спростити розробку [196].

LXI (LAN eXtensions for Instruments) – галузевий комунікаційний стандарт для контрольно-вимірювальних пристроїв. Він відкритий і безкоштовний. Стандарт був розроблений консорціумом провідних виробників і користувачів контрольно-вимірювального обладнання, створеним у вересні 2004 року і нараховує вже більше 40 членів. У Консорціум LXI входять провідні компанії галузі контрольно-вимірювального обладнання, включаючи засновників – Agilent Technologies і інших виробників як Tektronix, Rohde&Schwarz, Keithley Instruments, Racal Instruments і Yokogawa.

Специфікація LXI [197] заснована на добре відпрацьованому мережевому стандарті Ethernet і описує взаємодію будь-яких LXI приладів, незалежно від виробника, що вирішує проблеми, пов'язані із сумісністю пристроїв, дозволяє швидко і ефективно проводити збір даних та їх обробку.

Стандарт LXI став логічним продовженням розробки серії стандартів VXI і PXI для вимірювальних систем. У 2004 році стандарт був опублікований і в тому ж році був створений Консорціум LXI – об'єднання виробників, розробників систем, системних інтеграторів і користувачів для розвитку стандарту і вдосконалення обладнання LXI. При використанні стандарту LXI збільшується швидкодія мережевих вимірювальних систем, зменшується їх вартість, геометричні розміри, а також знижуються трудовитрати на розробку і налаштування систем [198, 199].

Така системна архітектура заснована на використанні попередніх досягнень комп'ютерних технологій, насамперед переваг технологій передачі Ethernet, мережевих можливостей інтернет, протоколів локальних мереж (LAN) та ін. Високі швидкості вводу/виводу, відсутність крейтів та інтерфейсних кабелів, сучасне програмне забезпечення разом з добре зарекомендованими стандартами готових засобів вимірювальної техніки визначає ефективність стандарту LXI.

Системи LXI підтримують практично всі стандартні інтерфейси – як власне LXI/LAN, так і VXI, PXI, RS232, а також GPIB. Така різноманітність підтримуваних пристроїв забезпечує універсальність систем LXI, швидкий і простий перехід на стандарт LXI для вже існуючих систем, а також повну сумісність LXI систем з іншими.

Вимірювальні системи LXI можуть мати ті розміри, які вимагаються для конкретного приміщення або виконання необхідних завдань. На відміну від VXI і PXI, які жорстко обмежені розмірами крейтів, стандарт LXI містить лише рекомендації до дотримання специфікацій IEC.

Інтерфейс LXI дозволяє з'єднувати настільні пристрої з фронтальною панеллю, стійкові модулі без панелі, окремі вимірювальні пристрої, в тому числі вбудовані, настільні та настінні. Стандарт LXI відрізняється від PXI і VXI тим, що кожен модуль або пристрій системи має власний блок живлення, охолодження, систему запуску, захист від перешкод і підключення до мережі Ethernet. Якщо використовується змінна напруга, вони використовують загальноприйняті стандарти живлення (100 В-240 В і 47-66 Гц), а при постійній напрузі вони працюють при 48 В. Також допускається живлення через Ethernet. Охолодження повинно здійснюватися з боків або з передньої/задньої частин, щоб було можливо встановлювати один модуль над іншим без зниження продуктивності. Кожен модуль повинен відповідати вимогам з електромагнітних завад, існуючим в країні, де він застосовується. Пристрій LXI повинен мати порт LAN і відповідати правилам IEEE 802.3 стандарту Ethernet. Стандарт рекомендує певне положення кабелю живлення (на задній панелі праворуч) і вимикача

живлення (на задній панелі знизу праворуч), конектора Ethernet (на задній панелі в дальньому кінці праворуч), роз'ємів підключення до сигналів (на передній панелі) і індикаторів LAN/живлення /IEEE 1588 (LXI часова синхронізація) зліва на передній панелі. Для приладів, що мають приладову панель, індикацію LAN / живлення / IEEE 1588 можна відображати на дисплеї, а прилади, що мають клавіатуру, можуть здійснювати функцію перезавантаження LAN безпосередньо з неї. Таким чином, окремі модулі обладнання LXI можуть бути використані незалежно від системи.

LXI-прилади мають світлодіодну (LED) індикацію живлення, індикацію LAN та індикацію IEEE 1588. За специфікацією LXI стандарту індикатор живлення повинен розміщуватися на передній панелі приладу. Деякі прилади можуть працювати в режимі очікування (STANDBY). З точки зору безпеки, рекомендується цей режим відображати на індикаторі живлення. Для пристроїв, які використовують режим STANDBY, індикатор живлення повинен бути трьох становий двохколірний (помаранчевий/зелений). Індикатор стану мережевого підключення повинен бути двокольоровим (червоний/зелений). Світлодіоди забезпечують дві функції: індикація несправності і ідентифікація пристрою. Індикатор статусу годинника IEEE 1588 призначений для відображення як статусу так і типу годинника. Індикатор може спалахувати з двома різними швидкостями.

Запуск і синхронізація LXI – це одна з головних особливостей LXI, яка дозволяє поєднати переваги телекомунікацій на базі Ethernet, стандарт синхронізації в часі IEEE 1588 [200] і можливість використання апаратної шини запуску VXI. Можливості запуску та синхронізації є найбільш цікавими аспектами шини LXI. Використовуючи можливості LAN і протокол часової синхронізації IEEE 1588, стандарт LXI визначає режими запуску, який відсутні в GPIB, PXI або VXI. Три класи пристроїв LXI – C, B і A – реалізують ці можливості в зростаючій мірі.

Клас C є базовим класом і він включає всі вимоги, що стосуються інтерфейсу LAN і протоколів, функції LAN discovery, інтерфейсу драйвера IVI і

веб-сторінок приладу, також рекомендації, що відносяться до живлення, охолодження, розмірів, індикаторів, клавіші Reset (скидання). Усі вимірювальні прилади LXI повинні дотримуватися вимог класу C.

Клас B включає всі вимоги класу C і додає протокол часової синхронізації стандарту IEEE 1588. Це робить можливим досягнення субмікросекундної синхронізації пристроїв LXI, розташованих в будь-яких точках локальної мережі або віддалених місцях. Клас B додає також протоколи повідомлень однорангової мережі та багатоадресної передачі повідомлень (вимагається в класах B і A, дозволяється в класі C). Режими передачі "точка-точка" і "запуск групи" (бродкастинг) у старті подій або процесів LAN застосовуються в стандарті LXI спеціально для запуску пристроїв та приладів, що надає системам LXI гнучкість, недоступну колишнім архітектурам. У стандарті IEEE 1588 пристрої LXI класу B синхронізують свої тактові генератори для досягнення єдиної установки часу вимірів або вихідних сигналів без використання спеціальних кабелів синхронізації і можливості ставити відмітку часу на всі події і дані. Стандарт IEEE 1588 в поєднанні з запуском по LAN дозволяє передавати інформацію і дані про час без використання комп'ютера, що працює в режимі реального часу. Потенціал цих можливостей ще тільки досліджується.

Обладнання класу A задовольняє всі вимоги класів C і B, до яких додана шина апаратного запуску. Восьмиканальна апаратна шина M-LVDS (Multipoint-Low Voltage Differential Signaling) – багатоточкова диференціальна шина сигналів низької напруги може з'єднувати пристрої, що знаходяться на близькій відстані один від одного за схемою послідовного ланцюга або зірки, а також комбінуючи ці дві топології. Шина запуску забезпечує проходження сигналу між приладами з вкрай незначною затримкою – порядку 3 нс / м.

Використання стандарту IEEE 1588 надає можливість забезпечити загальносистемне точне відстеження часу, що створюється за допомогою синхронізованого годинника реального часу в кожному пристрої LXI. Такі відстеження може бути використано для різних функцій, в тому числі:

- позначення даних мітками часу для подальшого аналізу;

- генерація LXI подій для точного запуску і синхронізації з іншими LXI приладами;
- генерація журналу подій, що дозволяє впорядкувати події в усіх частинах системи LXI;
- створення синхронних сигналів в декількох приладах LXI.

Кожний прилад LXI, що реалізує IEEE 1588, повинен забезпечувати функціональність, що повністю відповідає стандарту IEEE 1588 і профілю LXI 1588. Стандарт LXI версії 1.3 і пізніша специфікація вимагають від приладів LXI підтримки IEEE 1588-2008 і більш нових версій цього стандарту. Стандарт LXI версії 1.2 і старіші версії вимагають підтримки стандарту IEEE 1588-2002.

IEEE 1588 повинен реалізовуватись з достатньою для задач системи точністю. За специфікацією LXI прилади можуть забезпечити синхронізацію часу з точністю до 40 нс. Реалізація на базі програмного забезпечення має меншу точність. Функціональність IEEE 1588 можливо реалізувати використовуючи тільки програмне забезпечення. Однак, апаратна реалізація є кращою і є необхідною для забезпечення точності в 40 нс. Часова точність системи LXI приладів може бути обмежена й іншими чинниками, наприклад, якістю LAN-мостів в системі. В цьому випадку рекомендується використання граничного або прозорого годинника стандарту IEEE 1588. Якщо це не доступно, то необхідно використання LAN-комутаторів, які мають низьку затримку для пакетів UDP.

В усіх приладах LXI, що реалізують IEEE 1588, повинні бути доступні імпульси з періодом в одну секунду. Механічна та електрична специфікація цього виходу визначається замовником, але вихід повинен генерувати передній фронт синхронно з секундним переходом годинника IEEE 1588. Цей імпульс з періодом в одну секунду призначений для порівняння з відповідним імпульсом інших годинників в системі для перевірки синхронізації роботи. Для синхронізації годинників LXI приладів за стандартом IEEE 1588 потрібно реалізувати протокол Precision Time Protocol (PTP) [201]. Апаратна підтримка протоколу в різних пристроях може бути реалізована по-різному. Мінімум, що

вимагається для реалізації RTP – вміння апаратної частини проставляти в мережевому пакеті значення часу, що відповідає моменту отримання повідомлення до пристрою. Проставлений час буде використано для обчислення помилки.

Помилки можуть з'явитися з багатьох причин. Генератори частоти в пристроях різні і дуже мала ймовірність того, що два різних пристрої будуть працювати ідеально такт в такт. Сюди ж можна додати мінливі умови навколишнього середовища, що впливають на згенеровану частоту. Тому програмна реалізація синхронізації часто не дозволяє домогтися бажаної точності. Час, що минув з моменту отримання повідомлення (точніше отримання сигналу на прийом повідомлення у пристрої) до переходу на точку входу в переривання або на виклик callback-функції, не може бути строго визначеним. Апаратні рішення з підтримкою RTP здатні проставляти ці таймштампи самостійно (наприклад, чіпи від Micrel).

Крім таймштампів до апаратної підтримки також можна віднести можливість налаштувати кварцовий генератор (щоб вирівняти частоту з майстром), або можливість підстроювання годинника (кожен такт збільшувати значення годинника на X нс). RTP є клієнт-серверним протоколом синхронізації, тобто для реалізації протоколу потрібно як мінімум 2 пристрої. Отже, нехай Master-пристрій – еталонний годинник, а Slave-пристрій – годинник, який необхідно змусити працювати точно. Announce message (повідомлення анонсу) містить інформацію, що відправляється майстром всім Slave-пристроєм. Slave пристрій за допомогою цього повідомлення може вибрати кращого майстра (для цього розроблено алгоритм BMC – Best Master Clock). Цей алгоритм наведено в стандарті [200].

Повідомлення Sync/Follow Up, DelayResp, PDelayResp/PDelayFollowUp відправляються майстром. DelayReq, PDelayReq – запити Slave пристроїв. Master надає практично всю інформацію сам. Відправка здійснюється на Multicast-адреси (при бажанні можна використовувати Unicast режим), визначені у стандарті. Для PDelay повідомлень є окрема адреса (01-80-C2-00-00-0E для

Ethernet і 224.0.0.107 для UDP). Решта повідомлення відсилаються на 01-1B-19-00-00-00 або 224.0.1.129. Пакети відрізняються полями ClockIdentity (ідентифікатор годинника) і SequenceId (ідентифікатор пакету).

Цикл синхронізації починається з того, що Master відправляє повідомлення Sync і одночасно записує час відправки t_1 . Існує одно-і двоетапні режими роботи. Якщо присутні повідомлення FollowUp – то ми маємо справу з двоетапною реалізацією, пунктирною стрілкою показані необов'язкові повідомлення. FollowUp повідомлення відправляється за Sync і містить час t_1 . Якщо здійснюється передача в один етап, то Sync містить t_1 в тілі повідомлення. У будь-якому випадку t_1 буде отримано пристроєм.

У момент отримання повідомлення Sync на Slave генерується таймштамп t_2 . Таким чином визначається t_1 , t_2 . Slave генерує повідомлення DelayReq одночасно з генерацією t_3 . Master отримує DelayReq повідомлення, одночасно генеруючи t_4 . Значення t_4 відправляється Slave-пристроєм в DelayResp повідомленні. На рис.1 показана процедура обміну між головним і синхронізованим пристроєм.

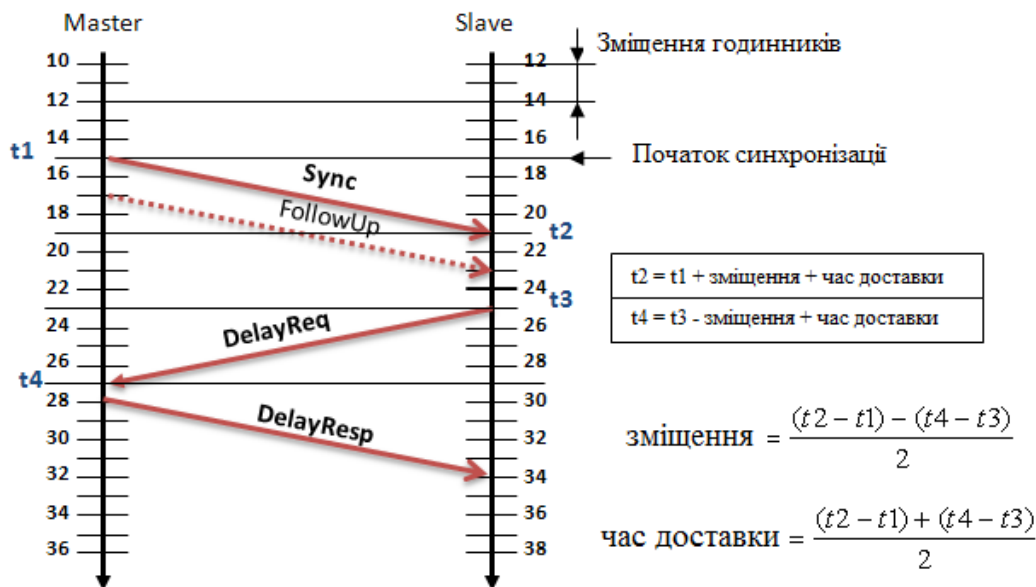


Рисунок 1. Процедура синхронізації пристроїв

Досягти нульової розбіжності в часі можна, якщо кварц генерує ідеально однакові частоти для синхронізованих пристроїв. На практиці ж тактова частота для годинників різна, тобто на одному пристрої за 1 секунду значення часу

збільшиться на 1 секунду, а на іншому, наприклад, на 1,000001 секунду. Звідси з'являється розбіжність часу. У стандарті [200] описано приклад обчислення відношення часу, що минув для Master і на Slave за певний інтервал. Це відношення буде коефіцієнтом для частоти Slave-пристрою. При цьому надана вказівка, що підстроювання може здійснюватися декількома способами. Насамперед можливо:

- змінити тактову частоту Slave-пристрою;
- не змінювати тактову частоту, але за кожен такт тривалістю T значення годин буде збільшуватися не на T , а на $T + \Delta t$.

Для реалізації обох способів потрібно обчислити різницю в значеннях часу на Master-пристрої за певний інтервал, а також різницю в часі, за цей же інтервал на Slave-пристрої. Визначення коефіцієнту за першим способом зображено на рис.2.

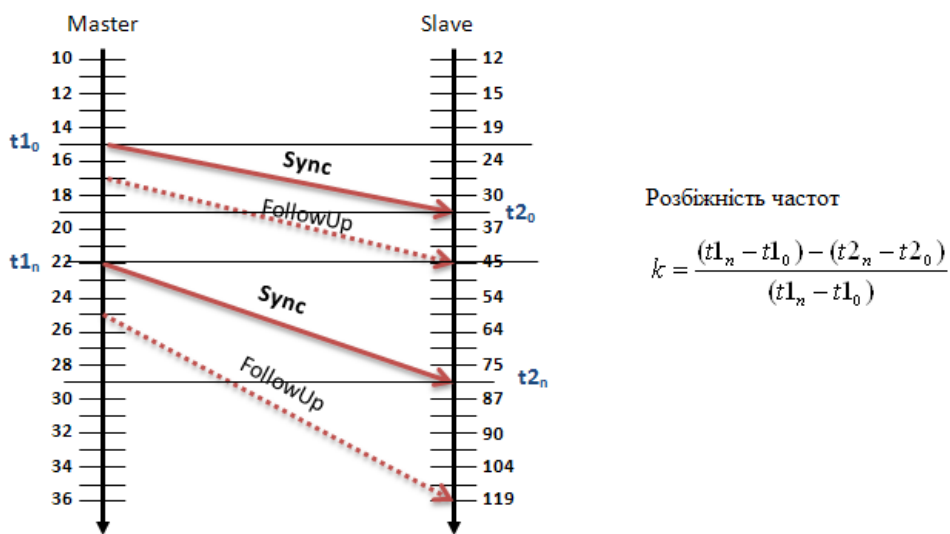


Рисунок 2. Розбіжність частот тактових генераторів приладів LXI

Для реалізації другого способу потрібно обчислення Δt . Δt – величина, яка буде впливати із значення часу для кожного певного інтервалу. Наприклад, на діаграмах рис.2 в той час як на майстрі минуло $22 - 15 = 7$ секунд, на Slave-пристрої минуло $75 + (87-75) / 2 - (30 + (37-30) / 2) = 47.5$ секунд.

В стандарті IEEE 1588 наведено кілька способів обчислення часу доставки. Існують 2 режиму роботи для PTPv2. Це режим E2E (End-to-End), та режим P2P (Peer-to-Peer). При реалізації стандарту можна використовувати будь-який з

режимів, але їх не можна поєднувати в одній мережі. У режимі E2E час доставки обчислюється за повідомленнями, які пройшли через декілька пристроїв, кожен з яких пропоставляє в полі корекції повідомлення Sync або FollowUp (якщо передача двоетапна) час, на який пакет затримався на цьому пристрої. Якщо пристрої підключені безпосередньо, час корекції не пропоставляється. Використовуються повідомлення Sync / FollowUp, DelayReq / DelayResp. У режимі P2P в полі корекції заноситься не тільки час, на який затримався пакет, а до нього додається значення $(t_2 - t_1)$. Використовуються повідомлення Sync/FollowUp, PDelayReq/PDelayResp/PDelayRespFollowUp.

Відповідно до протоколу RTP, годинник, крізь який RTP-повідомлення проходять із зміною поля корекції, називаються Transparent Clock (TC). На рис.3 наведено схему передачі повідомлення в режимі E2E.

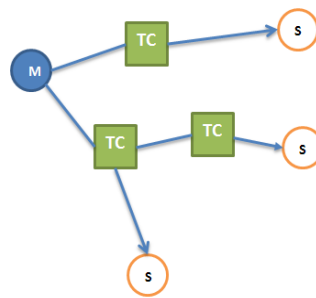


Рисунок 3. Повідомлення в режимі End-to-End

Товстими стрілками вказані повідомлення Sync і FollowUp. На рис.4 зображено схему передачі повідомлення в режимі P2P.

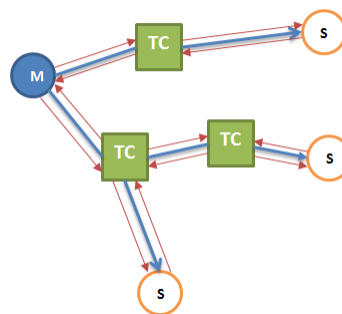


Рисунок 4. Режим Peer-to-Peer

Тонкими лініями показані повідомлення PDelayReq, PDelayResp і PDelayFollowUp. Сеанс обміну цими повідомленнями наведено на рис.5.

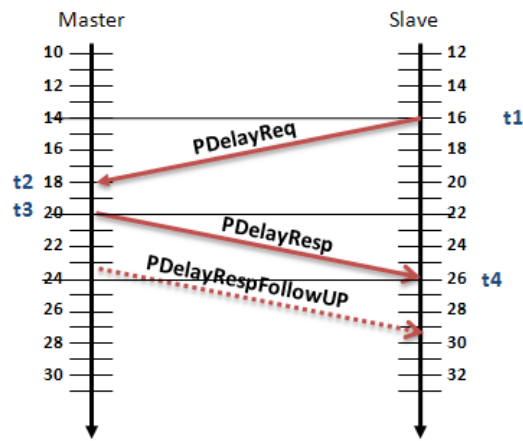


Рисунок 5. Обмін повідомленнями в режимі P2P

Використання стандарту IEEE 1588 є важливою перевагою розподіленої технології середовища LXI, так як дозволяє досягти точності синхронізації приладів в часі, раніше властиву виключно крейтовим системам з центральною шиною.

Розробка апаратного забезпечення мікроконтролерного LXI-сумісного інтерфейсного блоку на базі модуля CP2201EB.

Апаратне забезпечення розробленого мікроконтролерного LXI-сумісного інтерфейсного блоку реалізовано на основі мережевого модуля CP2201EB компанії Silicon Laboratories. Зовнішній вигляд модуля наведено на рис.6.

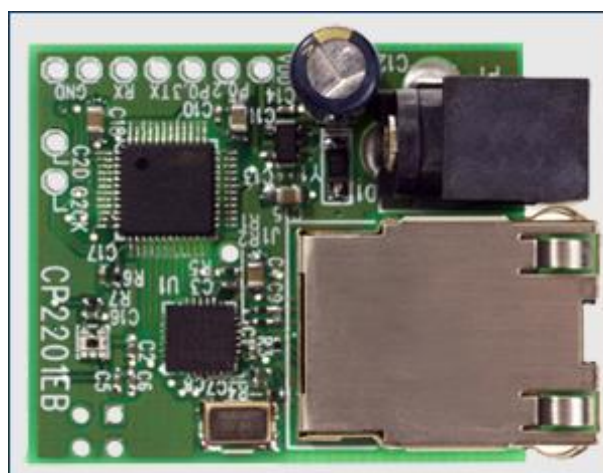


Рисунок 6. Зовнішній вигляд мережевого модуля CP2201EB

Модуль CP2201EB реалізовано на базі сучасного швидкісного 8-розрядного мікроконтролера C8051F340 (Silicon Laboratories) [202], та

мережевого Ethernet-контролера Silicon Laboratories CP2201 для з'єднання мікроконтролера з мережею Ethernet [203]. Модуль має в своєму складі наступні компоненти: роз'єм RJ45 (гальванічно розв'язаний); мікроконтролер C8051F340; мережевий драйвер CP2201; датчик освітлення EL7900ICL.

Технічні характеристики мікроконтролера C8051F340. Аналогові модулі. 10-розрядний АЦП (до 200 тис. перетворень в секунду); вбудований аналоговий мультиплексор, що працює в одноканальному і диференційному режимі; живлення від зовнішнього та внутрішнього джерела; вбудований датчик температури; можливість зовнішнього запуску; два компаратори; внутрішня опорна напруга. Вбудований USB-контролер. USB специфікація 2.0; підтримка повної швидкості або низької швидкості; вбудоване відновлення синхронізації, для підтримки повної або низької швидкості не потрібно зовнішніх генераторів; буферна пам'ять USB; вбудований приймач не потребує зовнішніх резисторів. Вбудоване налагодження контролера. Забезпечуються точки зупинки, покроковий запуск команд, контроль/модифікація пам'яті і регістрів; висока продуктивність систем відладки з використанням емуляції.

Високошвидкісний процесор серії MCS8051: конвеєрна архітектура виконання програми; 70% інструкцій виконується в 1 або 2 системних такти; швидкодія процесора – 48 MIPS; розширений обробник переривань.

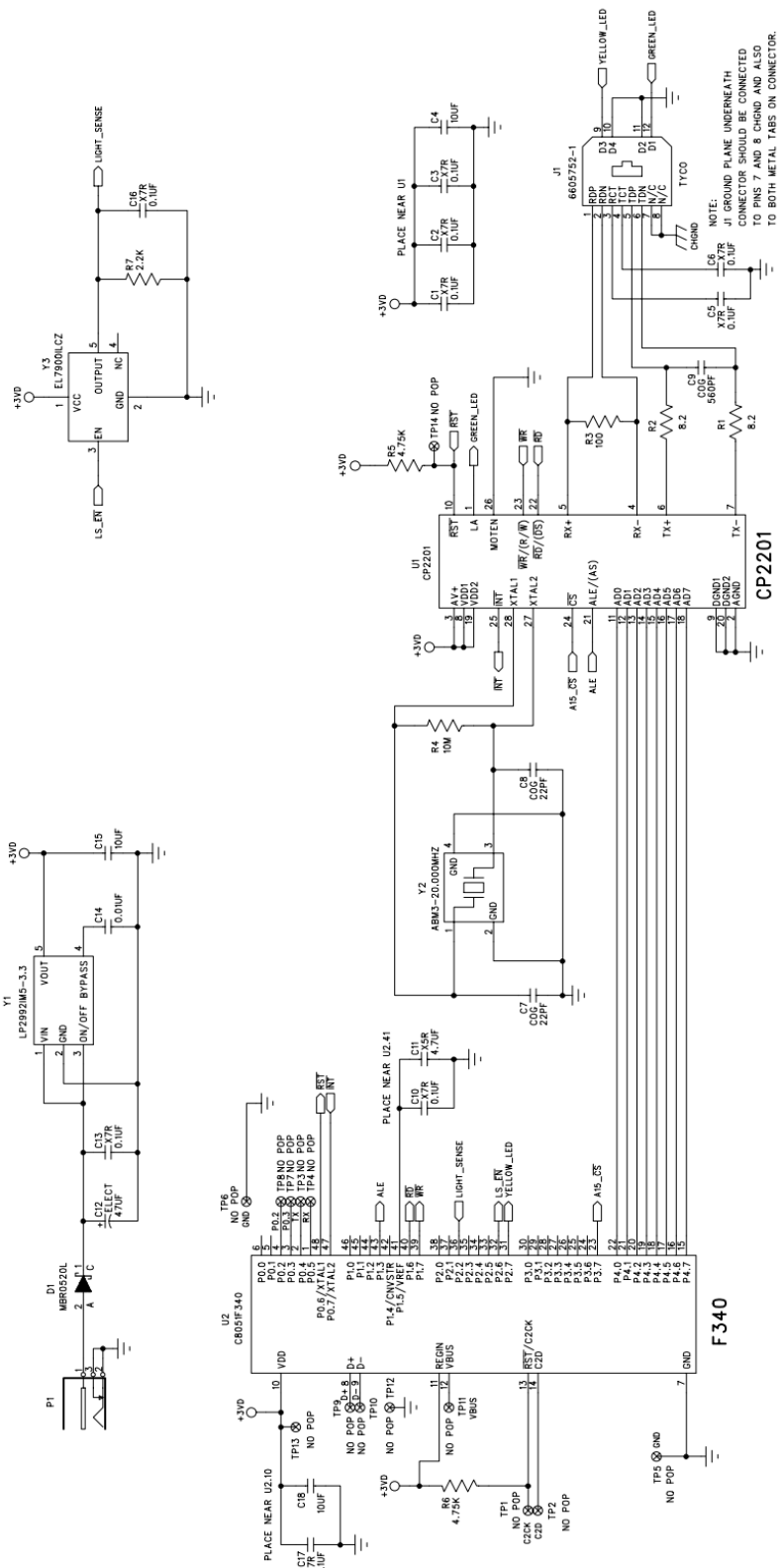
Пам'ять: 4352 байт пам'яті RAM; 64К байт пам'яті Flash, яку можна перепрограмувати під час роботи блоками по 512 байт.

Цифрові модулі: 40 портів вводу-виводу; апаратні інтерфейси SPI, SMBus, два послідовних порти UART; чотири 16-розрядних таймера/лічильника загального призначення; 16-бітний програмований масив лічильників з п'ятьма модулями порівняння; інтерфейс підключення зовнішньої пам'яті (EMIF). Підтримка інтерфейсів SPI, SMBus(I2C), UART(RS-232/485) надає можливість побудови на основі модуля CP2201EB гетерогенних(різномірних) мережевих систем на основі сполучення мережі Ethernet та промислових мереж.

Джерела опорної частоти: внутрішній генератор, що має похибку 0,25% і можливість відновлення тактової частоти, а також підтримує всі режими USB і

UART; зовнішній генератор: кварцовий, RC, або C; внутрішній генератор низької частоти (80 кГц).

Модуль CP2201EB містить в собі датчик освітленості EL7900 фірми Intersil. EL7900 – це оптичний датчик, що об'єднує фотодіод і підсилювач струму на одній монолітній мікросхемі. Вихідний струм прямо пропорційний інтенсивності світла, що діє на фотодіод. Його чутливість вище, ніж у фототранзистора. Особливості мікросхеми EL7900: монолітна мікросхема; містить фотодіод і підсилювач; діапазон від 1 до 8000 люкс; перетворення світла в струм; напруга живлення від 2,7 В до 5,5 В, малий струм живлення- 1 мкА; малий час відгуку – 200мкс; вихідна характеристика близька до лінійної; компактний і легкий корпус для поверхневого монтажу. Принципову схему модуля CP2201EB наведено на рис.7.



NOTE: PROPAGATION DELAY THROUGH ADDRESS/DATA, RD, WR, A15_CS, AND ALE MUST NOT VARY BY MORE THAN 5 NS.

Рисунок 7. Принципова схема мережевого модуля CP2201EV

Блок-схему мікроконтролера C8051F340 наведено на рис.8.

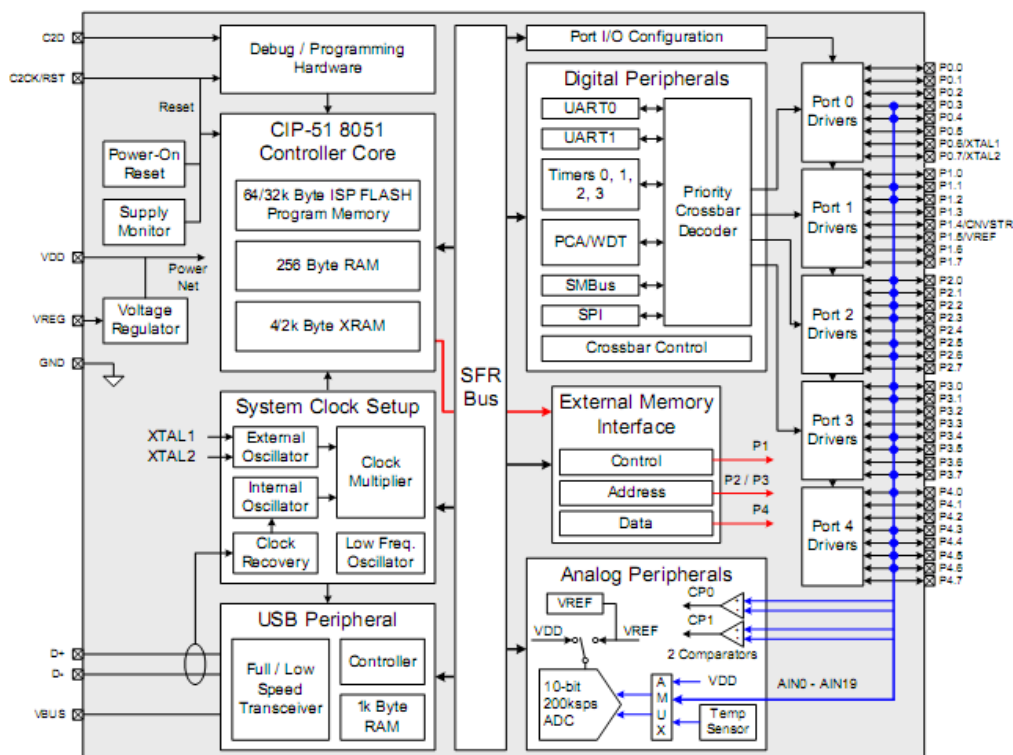


Рисунок 8. Блок-схема мікроконтролера S8051F340

Ethernet контролер CP2201 підтримує мережі 100Мбіт і 1Гбіт, що відповідає вимогам стандарту LXI, має невеликий розмір і високу швидкість роботи. CP2201 – це Ethernet контролер в мініатюрному корпусі з низьким енергоспоживанням і розширеною функціональністю. Містить сумісні з специфікацією IEEE 802.3 блоки MAC і 10BASE-T PHY, має 8К байт Flash-пам'яті. Мікросхема CP2201 дозволяє забезпечити Ethernet доступ для мікроконтролерів і хост-процесорів, задіявши 11 ліній вводу-виводу. 8-бітний паралельний інтерфейс працює як в мультиплексному, так і в звичайному режимі. Вбудована Flash-пам'ять може використовуватися для розміщення даних користувача, контенту веб-сервера або як звичайна енергонезалежна пам'ять; також в Flash-пам'яті зберігається унікальна 48-бітна MAC-адреса, запрограмована виробником.

CP220x являють собою малогабаритні однокристальні IEEE802.3 10-BaseT Ethernet-контролери, призначені для інтеграції інтерфейсу Ethernet в різні системи. Дані контролери реалізують функції MAC і PHY- рівнів стеку мережеских протоколів і забезпечують доступ до Ethernet мереж будь-яким

мікроконтролерам чи хост-машинам, що мають одинадцять і більше вільних ліній вводу/виводу. CP2200 випускається в 48-ми вивідному корпусі TQFP розміром 9x9 мм. [203]. Структурну схему CP2201 наведено на рис.9.

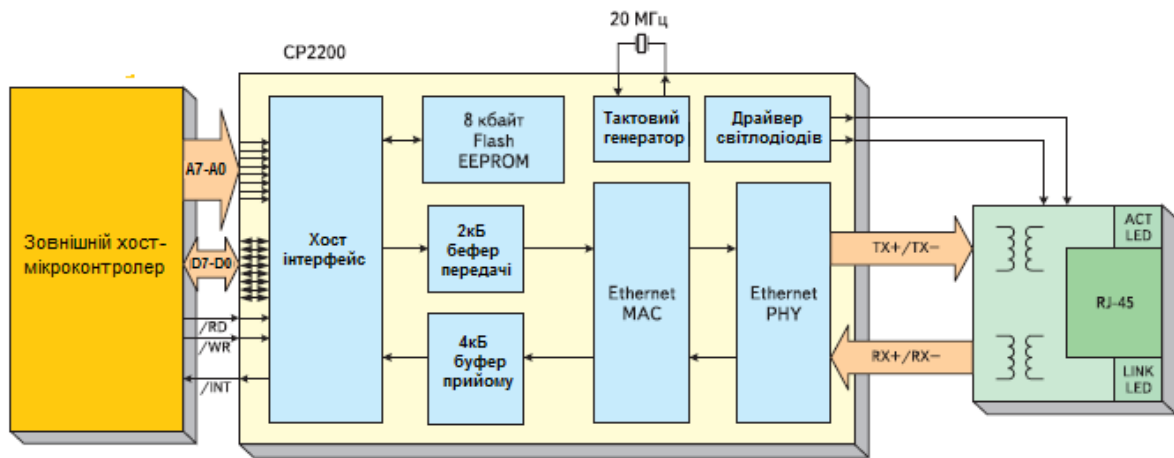


Рисунок 9. Структурна схема Ethernet-контролера CP2201

CP220x містить паралельний хост-інтерфейс, 8К байт енергонезалежної флеш пам'яті, 2-кілобайтовий буфер передачі, 4-кілобайтовий буфер прийому (FIFO), тактовий генератор 20МГц, Ethernet контролери MAC і PHY рівнів, а також драйвер світлодіодів.

Модуль паралельного хост-інтерфейсу дозволяє передавати дані зі швидкістю до 30 Мбіт/с, працює з шинами формату Intel (Motorola) і підтримує 8-розрядні режими взаємодії з зовнішньою хост-системою. Модуль забезпечує доступ до регістрів спеціального призначення, за допомогою яких здійснюються прийом і передача даних, а також контроль стану всіх модулів CP220x. Крім того, хост-інтерфейс здатний генерувати сигнал переривання, який може «пробуджувати» хост-процесор з режиму «сну» для отримання пакетів або при підключенні CP220x до мережі (Wake-on-LAN).

Передача даних по каналу Ethernet здійснюється за допомогою буфера передачі об'ємом 2К байт. CP220x забезпечує простий інтерфейс передачі TCP(UDP) пакету, що вимагає від хост-системи лише завантаження у буфер передачі MAC-адреси відправника та одержувача пакету, довжини і типу пакету, а також самих даних (46-1500 байт).

Інтерфейс прийому Ethernet-даних, крім буфера прийому FIFO об'ємом 4К

байт, містить також буфер швидкого перетворення адреси (TBL), приймальний фільтр і хеш-таблицю. Буфер TBL складається з 8 записів, кожен з яких містить початкову адресу (в буфері прийому), довжину та іншу інформацію (тип, ознаки помилки контрольної суми, неповного пакету та інше) одного отриманого пакету, тобто в буфері прийому може знаходитися до 8 пакетів даних одночасно. Приймальний фільтр і хеш-таблиця дозволяють налаштувати CP220x таким чином, щоб у процесі прийому небажані пакети відкидалися автоматично. Приймальний фільтр відкидає пакети за їх типом, проте підтримуються не всі типи пакетів (тільки ширококомвні, групові пакети, пакети з помилкою контрольної суми і неповні – довжиною менше 64 байт). Тому в CP220x реалізована можливість довільного доступу до даних у буфер прийому, що дозволяє хост-процесору прочитати певні байти прийнятого пакету і вирішити, чи копіювати весь пакет даних у пам'ять хост-системи. За допомогою хеш-таблиці можна встановити діапазон MAC-адрес, які будуть дозволені для запису в буфер прийому; пакети з адресами, не записаними у встановлений діапазон будуть відкидатися.

Серед інших функцій Ethernet-інтерфейсу, реалізованих вбудованими контролерами РНУ і MAC: розширення коротких пакетів до мінімальної довжини; обчислення і перевірка контрольної суми (CRC); перевірка довжини пакету; повна сумісність зі стандартами 100/1000 BaseT; підтримка стандартів Plug-and-Play (auto-negotiations, auto-polarity); дуплексний і напівдуплексний режими роботи; виявлення колізій з автоматичним повтором передачі; тестування та налагодження в режимі зворотної петлі (можливі два режими: з замиканням каналу передачі на РНУ-рівні або на MAC-рівні); перевірка зв'язку з мережею; виявлення і фільтрація шумів при прийомі; відсікання некоректних пакетів при передачі.

Буфери прийому та передачі Ethernet-інтерфейсу відображені в одному і тому ж діапазоні адресного простору і звернення до них здійснюється за допомогою однієї і тієї ж адреси, однак реєстри даних (для операцій читання-запису) використовуються різні. Крім буферів прийому та передачі в CP220x є ще один

блок пам'яті – вбудована Flash-пам'ять об'ємом 8К байт. Вона розміщена в окремому адресному просторі і доступ до неї здійснюється за допомогою власного показника адреси і регістра даних. Ця пам'ять може використовуватись для зберігання констант користувача, контенту веб-сервера, а також в якості незалежної пам'яті загального призначення. При виготовленні в останні шість комірок цієї пам'яті записується унікальна 48-розрядна MAC-адреса. Стирання Flash-пам'яті виконується секторами по 512 байт, запис реалізується побайтно. Управління операціями запису-стирання Flash-пам'яті здійснюється автоматично апаратними засобами і не перешкоджає роботі хост-інтерфейсу.

Для тактування CP220x може використовуватися або вбудований тактовий генератор (у цьому випадку необхідно підключити зовнішній кварцовий резонатор 20 МГц) або зовнішній сигнал тактування. При зникненні з яких-небудь причин тактових імпульсів буде згенерований сигнал скидання тривалістю близько 1мс, у тому числі на зовнішньому виводі RST, який можна використовувати для скидання зовнішніх модулів. Сигнал скидання генерується також при зникненні напруги живлення або зниженні її порогової величини. В CP220x реалізовано чотири режими електроживлення: нормальний режим живлення – в цьому режимі всі модулі ввімкнені і CP2200 повністю зберігає свою функціональність; режим очікування підключення до мережі – в цьому режимі передавач відключений; режим підтримки пам'яті – в цьому режимі можливий доступ до Flash-пам'яті, а також до буфера прийому та передачі, приймач і передавач Ethernet-інтерфейсу відключені; режим простоювання – в цьому режимі всі модулі CP2200 відключені, тактовий генератор зупинений (даний режим характеризується найменшим енергоспоживанням, вийти з режиму простоювання можна тільки по сигналу скидання).

На рис.10. наведено схему підключення Ethernet-контролера CP2201 до мікроконтролера C8051F340 в макеті мікроконтролерного LXI-модуля.

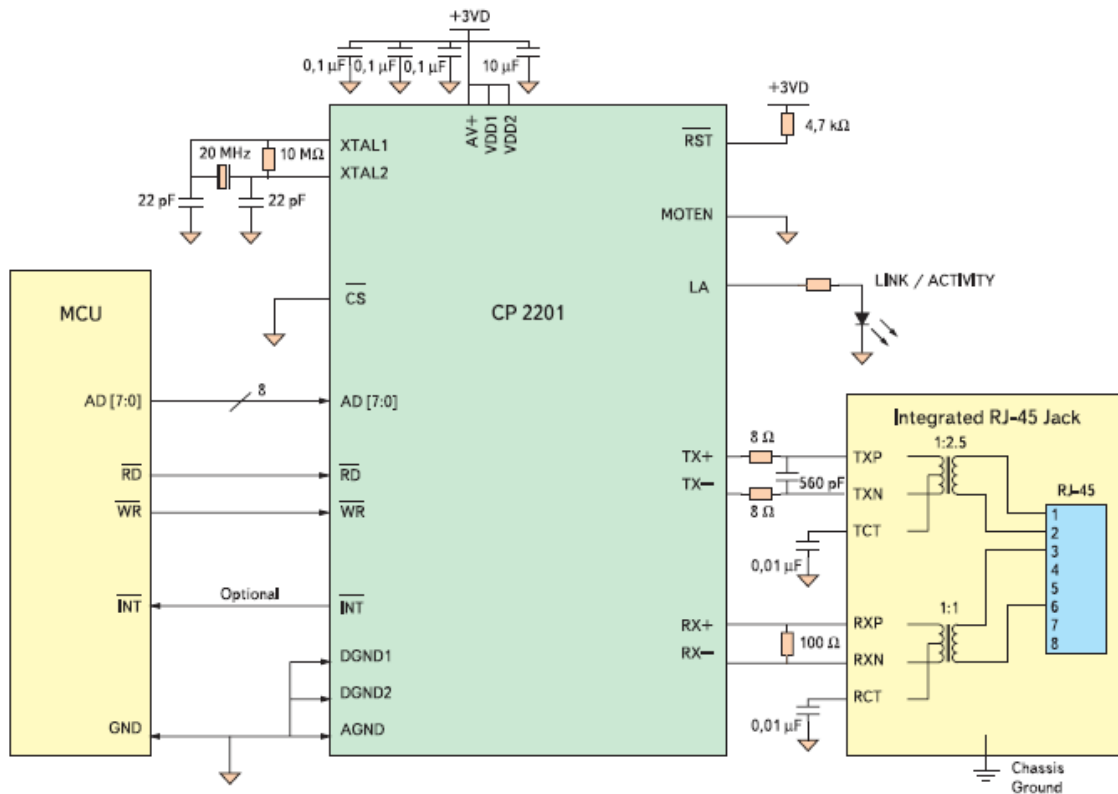


Рисунок 10. Схема підключення CP2201 до мікроконтролера C8051F340

Розробка програмного забезпечення інформаційного блоку демонстраційного мікроконтролерного LXI-сумісного модуля.

Сигнали від вимірювальних каналів подаються на аналоговий вхід P2.2 мікроконтролера C8051F340. В мікроконтролер вбудований мультиплексор, який здійснює комутацію входів до одного входу АЦП. 10-розрядний АЦП перетворює аналогові сигнали в цифровий код. Кодовані сигнали обробляються мікроконтролером, створюється пакет даних та передається на Ethernet-контролер. Після створення пакету даних Ethernet, він передається на роз'єм типу RJ-45. Використано вбудований в мікроконтролер C8051F340 датчик температури та датчик освітленості EL7900, що підключений до лінії P2.2. Для одержання даних розроблено функцію `meashure()` [204]. Частина функції `meashure()`, яка реалізує вимірювання температури, наведено на рис.11.

```

case CAPTURE_TEMP:
accumulator += ADC0;
ADC_sample_counter++;
if(ADC_sample_counter == NUM_TEMPSENSOR_SAMPLES){
// Accumulator contains (adc_reading << NUM_TEMPSENSOR_SAMPLES_EXP)
// or, adc_reading [16-bit]
//
// Step 1. Voltage [mV] = (adc_reading / 65536 * Vref[mV]);
//

// Step2. (Temperature*1000)=(Voltage[mV]-Offset[mV]) *
//         gain_inverted [degC/mV * 1000]
//

// Step 1. Calculate voltage [mV]
accumulator >>= (NUM_TEMPSENSOR_SAMPLES_EXPONENT-6);
accumulator *= VREF_MV; // multiply by Vref[mV]
accumulator >>= 16; // divide by 65536

// Step 2. Calculate temperature * 1000
accumulator -= TEMP_SENSOR_OFFSET;
accumulator *= (TEMP_SENSOR_GAIN);

// accumulator contains the temperature in thousands of a degree C
TEMPERATURE_INTEGER = accumulator / 1000;
TEMPERATURE_FRACTION = (accumulator / 100) -
    [(TEMPERATURE_INTEGER*10)];

// Change State and reset sample counter
ADC_state = SWITCH_TO_LIGHT;
AMXOP = LIGHT_SENSOR_MUX;
accumulator = 0;
ADC_sample_counter = 0;
}
break;

```

Рисунок 11. Вимірювання температури

Частина функції meashure(), яка реалізує вимірювання освітленості, наведено на рис.12.

```

case WAIT_RESULT_LIGHT:
while(ADOBUSY);
ADC_state = CAPTURE_LIGHT;
break;

case CAPTURE_LIGHT:
accumulator += ADC0;
ADC_sample_counter++;
if(ADC_sample_counter == NUM_LIGHTSENSOR_SAMPLES){

// Calculate light intensity
temp_int = accumulator;
temp_int >>= 1;
if(temp_int > 0xFF) temp_int = 0xFF;
LIGHTSENSOR_BYTE = temp_int;
LIGHTSENSOR_PERCENT =
    (LIGHTSENSOR_BYTE==0xFF) ?100:
    (((unsigned int)LIGHTSENSOR_BYTE*100)>>8);

// Change State
ADC_state = DATA_SEND;
AMXOP = TEMP_SENSOR_MUX;
accumulator = 0;
ADC_sample_counter = 0;
}
break;

```

Рисунок 12. Вимірювання освітленості

Розробка програмного забезпечення мережевого блоку мікроконтролерних модулів.

Для мікроконтролерної реалізації базової функціональності стеку протоколів TCP/IP існує декілька поширених бібліотек. Зокрема – це бібліотека стеку uIP різних версій і бібліотека TCP/IP стеку фірми Silicon Laboratories. Бібліотека uIP надає реалізацію базових протоколів стека TCP/IP і орієнтована на малорозрядні 8- і 16-розрядні мікроконтролери. Вона надає базові протоколи для мережевого зв'язку з невеликим розміром коду і вимогами до пам'яті. Розмір коду uIP складає декілька кілобайт пам'яті кодів і потребує декількох сотень байт оперативної пам'яті. Бібліотека uIP є програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом, вона розроблена на мові програмування C. Документацію і вихідні коди можна вільно використовувати і поширювати для комерційного та некомерційного використання з умовою збереження посилання на автора. Бібліотеку було портовано на широкий спектр 8-розрядних мікроконтролерів, вона використовується у великій кількості продуктів та проектів [205].

Бібліотека uIP має такі особливості: добре документований і добре прокоментований вихідний код; малий розмір коду; низькі вимоги до пам'яті, які налаштовуються під час компіляції; підтримка протоколів ARP, SLIP, IP, UDP, ICMP і TCP; бібліотека включає в себе набір прикладів додатків: веб-сервер, клієнт електронної пошти (SMTP клієнт), Telnet сервер, DNS; підтримується будь-яка кількість активних з'єднань TCP, максимальне число яких налаштовується під час компіляції; підтримується будь-яка кількість пасивних слухачів (серверів) TCP, максимальне число яких налаштовується під час компіляції; безкоштовність для комерційного та некомерційного використання; RFC-сумісна реалізація протоколу TCP і IP.

Програмне забезпечення мережевих блоків мікроконтролерних LXI-модулів реалізовано на базі стека uIP версії 0.9. Цей вибір зумовлений тим, що для бібліотеки uIP надаються відкриті вихідні коди, що забезпечує можливість адаптації базового бібліотечного коду до вимог стандарту LXI.

Програмне забезпечення мікросервера складається з двох частин

серверного та клієнтського. Серверне програмне забезпечення виконує керування всією внутрішньою периферією модуля CP2201EB. Клієнтське програмне забезпечення реалізує запити на обмін з серверною частиною. Базовим програмним забезпеченням серверної частини є TCP/IP стек uIP версії 0.9, весь інший функціонал в залежності від поставлених задач втілюється розробником.

Структурну схему організації програмного забезпечення мікроконтролерного LXI-сумісного інтерфейсного блоку наведено на рис.13.

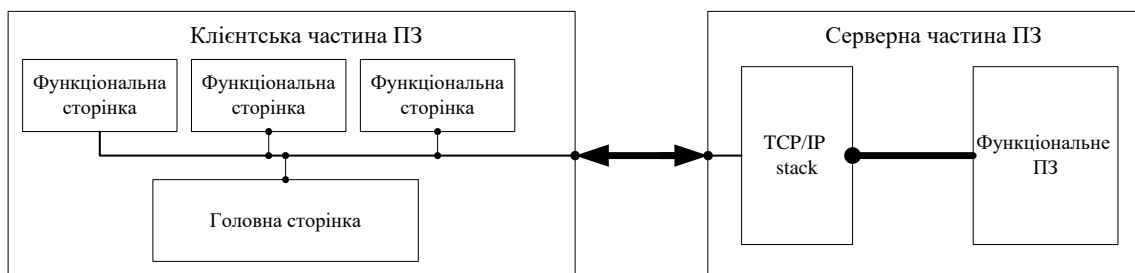


Рисунок 13. Структура програмного забезпечення мережевого мікроконтролерного блоку

Для сумісної роботи Ethernet-контролера CP2201 та бібліотеки uIP розроблено програмне забезпечення, що реалізує обмін повідомленнями між канальним рівнем стеку uIP та фізичним рівнем Ethernet-контролера CP2201 [206]. Цю бібліотеку розміщено в файлах cp2201.c та cp2201.h. В файлі заголовку cp2201.h знаходяться визначення регістрів Ethernet-контролера та структури даних.

Файл cp2201.c складається з трьох функцій – InitCP2201(), що виконує ініціалізацію контролера, CP2201_transmit(), що виконує передачу даних і CP2201_receive(), що виконує прийом даних. Крім того, так як для обробки переривання від CP2201 використовується зовнішнє переривання INT0 мікроконтролера, до вказаних функцій додано функцію обробки переривання ExtInt0_ISR() та службову функцію _wait_ms(count), що призначена для генерації часових затримок [204].

Організація передачі повідомлень для LXI подій.

В повідомленнях LXI подій використовується формат даних для прямої передачі даних від модуля до модуля. Ці повідомлення є повідомленнями подій LXI (LXI Event Messages), які передаються багатьом адресатам в локальній мережі за протоколом UDP або передаються через TCP з'єднання точка-точка. Для UDP-обміну загальний розмір даних не повинен перевищувати розмір одного пакету даних LAN мережі. Повідомлення LXI Event Messages повинно кодуватися в одному пакеті локальної мережі для досягнення мінімальної затримки і уникнення ускладнень при багатоадресному спілкуванні по UDP.

Якщо LAN пакети занадто великі, то вони фрагментуються. Однак, максимальна довжина – параметр, що задається користувачем. Це значення за замовчуванням – 1400 байт. Його можна зменшувати або збільшувати, якщо це необхідно. Обов'язковою вимогою до LAN приладів є їхня змога приймати пакети не менші за 512 байт без фрагментації. Якщо всі пристрої в системі сконфігуровані відповідним чином, то розмір пакету може бути більшим.

Розмір пакету залежить від параметрів LAN мережі, яка використовується, та від того, чи реалізовано протокол IPv6. В цілому є підстави очікувати, що принаймні 450 байт будуть доступні для пакетів даних. Частина цього простору виділяється для обов'язкових полів даних, таких як мітки. Інший простір доступний для користувацьких цілей за умови дотримання форматування, опис якого наведено нижче. Для TCP спілкування будь-які фрагменти пакетів будуть автоматично зібрані стеком приймаючого модуля. В цьому випадку, передача LXI Event Messages може включати в себе дані будь-якого розміру. Проте, чим довші дані, тим повільніше вони надходять до приймача. Тому при обміні, для якого час доставки є критичним, використовуються пакети з невеликим розміром.

LXI Event Messages повинні містити в собі поля, які вказано на рис.14.

HW Detect	Domain	Event ID	Sequence	Timestamp	Epoch	Flags	Data Fields...	0 (два байта)
--------------	--------	-------------	----------	-----------	-------	-------	-------------------	------------------

Рисунок 14. Структура пакету LXI Event Messages

Вважається, що розмір одного байта – 8 біт (октет). Крім того, всі багатобайтові поля розташовані у зворотному порядку (найстарший байт передається першим). У кожному байті передається першим найменший значущий біт. Для масиву октетів полів найбільш значуще поле передається першим. Таким є поле з індексом 0.

HW Detect. Масив октетів довжиною 3. Використовується в якості «магічного числа», щоб визначити коректні пакети, а також зарезервовано для майбутніх апаратних реалізацій LXI Event пакетів. Це поле повинно містити значення «LXI».

Domain. UInteger8. Значення за замовчуванням повинно бути нулем.

Event ID. Масив октетів довжиною 16. Містить ідентифікатор LXI події. Він повинен включати перші 16 байт імені LXI Event (послідовність ASCII – символів), визначених в стандарті LXI. Імена довші за 16 байт будуть урізані до перших 16 символів. В іменах, що менші за 16 байт, невикористані октети будуть встановлені в 0x00.

Sequence. UInteger32. Містить порядковий номер. Кожен сеанс передачі даних від приладу повинен підтримувати незалежний порядковий лічильник(и):

- один для кожної комбінації багатоадресового мережевого UDP інтерфейсу;
- один для кожного з'єднання TCP.

Після передачі повідомлення прилад повинен збільшувати значення лічильника. Початкове значення лічильника допускається довільним.

Timestamp. 10 октетів. Часова мітка, яка ідентифікує час, коли відбулась чи відбудеться подія LXI Event. Поле секунд – молодші 32 біта поля секунд за стандартом IEEE 1588. Поле наносекунд – поле наносекунд часових відміток за стандартом IEEE 1588. Поле наносекунд завжди менше, ніж 10^9 . Дробове поле (fractional_nanoseconds) містить частку наносекунди, яка забезпечена механізмом часових відміток годинника IEEE 1588. Інтерфейс обміну програми та локального годинника може не містити дробового значення наносекунди. В такому випадку це поле повинно містити нуль.

Наприклад, +2.0 секунди повинні бути представлені наступним чином: seconds = 0x00000002, nanoseconds = 0x00000000; -2.0 секунди: seconds = 0x00000002, nanoseconds = 0x80000000; +2.000000001 секунди: seconds = 0x00000002, nanoseconds = 0x00000001.

Значення відмітки часу «нуль» повинно тлумачитися як «зараз», тобто час, коли одержувач обробляє повідомлення.

Epoch. UInteger16. Поле, яке містить найбільш значущі 16 біт поля секунд за стандартом IEEE 1588. Для пристроїв, що не здатні встановлювати відмітки часу, це поле дорівнює нулю.

Flags. UInteger16. Поле, що містить дані про пакет. Визначається таким чином:

Біт 0 – Повідомлення про помилку. Якщо біт встановлений в 1, пакет є повідомленням про помилку.

Біт 1 – Зарезервований. Повинен бути встановлений в нуль.

Біт 2 – Апаратне значення. Логічне значення, яке характеризує тригер подій (зокрема, апаратні події).

Біт 3 – Підтвердження. Якщо біт встановлений в 1, то попередній пакет був успішно отриманий. Це дозволяє LXI системам реалізовувати на основі UDP протоколи handshaking (з підвищеною надійністю). Модулі не зобов'язані реалізовувати цю можливість, однак, вони повинні ігнорувати пакети, в яких цей біт встановлено.

Біт 4 – Подія без стану. Якщо біт встановлено в 0, вміст апаратного значення (біт 2) має контролюватися модулями приймачів. Якщо встановлено в 1, то подія LXI передається без стану і вміст апаратного значення (біт 2) повинен ігноруватися приймачами повідомлення.

Біт 5-15 – Зарезервовано. Всі біти повинні бути встановлені в 0.

Data Fields. Довільна кількість байт. Кожне поле даних повинно мати наступний формат:

Data Length (UInteger16) – розмір даних користувача. Якщо пакет не містить даних, то це поле повинно бути нульовим.

Identifier (Integer8) – ідентифікатор типу даних, що передаються. Числа від 0 до 127 доступні для користувацьких цілей. Від’ємні числа зарезервовані специфікацією консорціума LXI.

User Data – масив байтів, розмір якого задається полем Data Length.

LXI прилади повинні ігнорувати будь-які повідомлення LXI Event Message, якщо значення поля HW не співпадає зі значенням, що має відношення до специфікації LXI. На даний момент поле HW повинно містити «LXI». Якщо поле Event ID містить нулі, то подія вважається «нульовою». Всі LXI прилади повинні ігнорувати такі події, але вони повинні бути записані в лог-файл.

Один із можливих способів підвищення надійності передачі даних по UDP полягає в програмуванні приймальних модулів для підтвердження отримання пакету. Якщо це реалізовано, то повинен встановлюватися прапор підтвердження (біт 3 поля Flags). Якщо не реалізовано, то пакети з встановленим прапором будуть ігноруватися.

Прилад також повинен підтримувати статичне і динамічне призначення IP-адреси. При статичному призначенні IP-адреси всі необхідні параметри (маска мережі, ім'я, шлюз, DNS) повинні бути вказані вручну. Такий підхід досить поширений і використовується в невеликих мережах, коли немає необхідності підтримувати велику базу використаних адрес.

Ідентифікатори типу даних наведені в табл.1.

Таблиця 1.

Ідентифікатори типу даних

Значення	Тип даних	Розмір	Примітка
-1 (0xFF)	ASCII Data	1	Рядок ASCII символів
-2 (0xFE)	int8	1	Доповнювальний код
-3 (0xFD)	uint8	1	Big-endian
-4 (0xFC)	int16	2	Доповнювальний код; багатобайтові поля з big-endian

Продовження таблиці 1

C-5 (0xFB)	uint16	2	Багатобайтові поля з big-endian
-6 (0xFA)	int32	4	Доповнювальний код; декількох багатобайтові поля з big-endian
-7 (0xF9)	uint32	4	Багатобайтові поля з big-endian
-8 (0xF8)	int64	8	Доповнювальний код; багатобайтові поля з big-endian
-9 (0xF7)	uint64	8	Багатобайтові поля з big-endian
-10 (0xF6)	float32	4	Формат IEEE 754; багатобайтові поля з big-endian
-11 (0xF5)	float64	8	Формат IEEE 754; багатобайтові поля з big-endian
-12 (0xF4)	float128	16	Формат IEEE 754; багатобайтові поля з big-endian
-13(0xF3)	UTF-8 Data	1	Unicode String Data закодований в UTF-8
-14 (0xF2)	UTF-8 JSON	1	JSON закодований в UTF-8
-15 (0xF1)	UTF-8 XML	1	XML закодований в UTF-8
-16 (0xF0)	Octet	n	Неінтерпретований октет

При зростанні кількості комп'ютерів/обладнання в мережі, більш доцільно використання протоколу DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – протоколу динамічної конфігурації мережі. Стандарт LXI також рекомендує включати підтримку протоколу DDNS – динамічних серверів імен, щоб надати можливість обладнанню мати власні імена в мережі.

Оснащення LXI-пристроїв вбудованим веб-сервером забезпечує користувачу доступ до веб-сторінок налаштувань і управління. Такий підхід не тільки дозволяє уникнути необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення на клієнтський комп'ютер, а є кросплатформеним рішенням, адже контент сервера може бути прочитаний будь-яким браузером в будь-якій операційній системі. Використовуючи динамічні веб-сторінки користувач може змінити всі параметри налаштування пристрою. Одна з особливостей динамічних веб-сторінок полягає в тому, що крім статичної інформації в них

можна вбудовувати програми, створені на мовах Java або Flash. Ці додатки можуть реалізовувати складний графічний інтерфейс користувача. Це робить їх придатними для створення панелей оператора, які імітують лицьову панель реального приладу.

Програмне забезпечення для управління LXI-пристроями будується на основі технології VISA (Virtual Instrument Software Architecture), яка визначає набір команд і функцій для роботи з введенням-виведенням і передачею даних по мережі. Використання технології VISA надає переваги стандартизації процесу програмування. Стандарт LXI вимагає від виробника виробу розробки одного з двох типів VISA-драйверів –IVI-COM і IVI-C. Перший заснований на поширеній архітектурі COM, що була розроблена фірмою Microsoft і дозволяє використовувати будь-яку з сучасних мов програмування. Структура драйверу являє собою ієрархію класів. Це дозволяє отримати всі переваги об'єктно-орієнтованого підходу до програмування. IVI-C драйвера втілюють більш низькорівневе рішення та створюються на мовах C або C++ [207].

У порівнянні з іншими архітектурами використання стандарту LXI для створення систем дистанційного збору і обробки експериментальних даних надає ряд суттєвих переваг.

Скорочення накладних витрат. Незалежно від обраного конструктивного виконання, прилади LXI сприяють зниженню вартості системи. Модульні пристрої не вимагають базових блоків, або спеціалізованих інтерфейсів. Модулі приладів можна налаштувати за допомогою програм для емуляції широкого кола вимірювальних задач. Дистанційні пристрої на базі LXI забезпечують економічний спосіб розміщення датчиків, камер, мікрофонів і інших пристроїв. Настільне виконання забезпечує створення точних приладів з можливістю підключення до LAN.

Повторне використання існуючих приладів та програмного забезпечення. В деяких випадках вимірювальні прилади можуть використовуватися для розробки та налагодження програм випробувань, які потім можуть використовуватися у системі, побудованій з використанням пристроїв LXI. Крім

того, при використанні необхідних програмних модулів нові функціональні блоки можуть виконувати роботу декількох приладів одночасно..

Скорочення часу налаштування. Завдяки використанню перевірених часом стандартів, таких як Ethernet і драйвери IVI, забезпечується сумісність усіх компонентів, і налаштування системи займає менше часу. При наявності веб-сторінок, вбудованих в кожен прилад LXI, за допомогою стандартного веб-браузера можна переглядати всю інформацію про пристрій, змінювати його конфігурацію, керувати вимірюваннями і одержувати їх результати.

Збільшення продуктивності системи. Стандарт LXI дозволяє створювати високошвидкісні розподілені системи, що складаються з приладів, які взаємодіють один з одним і працюють паралельно. Синхронізація пристроїв забезпечується способами запуску, передбаченими стандартами IEEE 1588 і локальної мережі, одноранговими і багатоадресними повідомленнями, а також сигналами апаратної шини запуску.

Зменшення розмірів системи. Модульні прилади LXI дозволяють зменшити масу і габарити системи і вимоги до приміщення для їх розміщення без погіршення якості вимірювань.

Вирішення проблем модернізації системи. В основі збільшення терміну служби систем на базі LXI закладено дві основні ідеї: можливість додавання нових функцій або спеціалізованих вимірювальних програм, а також можливість впровадження оновлених або більш досконалих технологій в системи. Ці можливості спрощують задачу підтримки системи.

При реалізації інформаційно-вимірювальної систем на основі стандарту LXI доцільною є розробка мікроконтролерних LXI-сумісних інтерфейсних блоків, що підтримують обмін за стандартом Ethernet згідно специфікаціям, визначеним стандартом. Таке рішення дозволить забезпечити інтеграцію різноманітних вимірювальних пристроїв в системи на основі стандарту LXI.

Розробка програмного забезпечення підтримки LXI-повідомлень мікроконтролерними мережевими модулями.

Для передачі повідомлень за стандартом LXI використовується спеціальний формат фрейму, що міститься в мережевому UDP-пакеті. Для забезпечення максимальної швидкодії та уникнення, бажано, щоб повідомлення LXI знаходились в одному пакеті UDP. Якщо пакети даних занадто великі, вони можуть бути фрагментованими. Зазвичай пакет має розмір у 1400 байтів. Цей розмір може вибиратись довільно, але не повинен бути меншим за 512 байт.

Для TCP-комунікацій, будь-які фрагментовані пакети автоматично дефрагментуються на стороні отримувача. В цьому випадку повідомлення LXI можуть включати в себе дані будь-якого розміру. Однак, чим більше розмір даних, тим більше часу потрібно, щоб їх передати. Для комунікацій, де час передачі є критичним, як правило, використовують невеликі розміри пакетів.

Відповідно до стандарту LXI, модуль повинен підтримувати UDP-пакети визначеного стандартом формату. Демонстраційний макет мікроконтролерного LXI-модуля підтримує:

- ширококомовну відправку пакетів з інформацією про стан пристрою з періодом в 1 секунду;
- прийом пакетів з запитом даних та відповідь на них [208].

Широкомовний пакет для LXI-модуля має ідентифікатор події "Device state" і містить в собі три двобайтових цілих числа – результати вимірювань температури, освітлення та стан світлодіода.

Вхідний пакет повинен мати ідентифікатор події "Data Request" і містити в собі одне ціле однобайтове число, що відповідає наступним значенням:

0 – запит температури; 1 – запит освітленості; 2 – запит стану світлодіоду.

Залежно від вигляду вхідного пакету формується пакет відповіді, що може мати наступні ідентифікатори події:

- "Temperature data" – відповідь на запит температури;
- "Illumination data" – відповідь на запит освітленості;
- "LED data" – відповідь на запит стану світлодіоду.

Пакет відповіді в полі даних містить одне ціле двобайтове число.

Крім того, всі пакети, що приходять з флагом підтвердження ігноруються, незалежно від розміщених в ньому даних.

Генерація такого пакета здійснюється за допомогою програмного забезпечення, що знаходиться в файлах lxi.c та lxi.h. В файлі lxi.h описуються основні константи та структура даних фрейму (рис.15).

```
typedef struct{
    u8_t  HWDetect[3];
    u8_t  domain;
    u8_t  event_ID[16];
    u32_t seq;
    u32_t ts_sec;
    u32_t ts_nsec;
    u16_t ts_fr_nsec;
    u16_t epoch;
    u16_t flags;
    u16_t length;
    u8_t  identifier;
    u8_t  dta[128];
} lxi_event;

extern bit LXIEventPending;
extern unsigned int data illuminance;
extern unsigned int data temperature;
sbit LED_ON = P0^2;
```

Рисунок 15. Структура даних фрейму

Далі визначаються константи для визначення стану, тип запиту даних та прототипи функцій (рис.16).

```
void sendTest(void);
void lxi_app(void);
static void create_msg(char dta[], char len);
void lxi_request(void);
void lxi_appcall(void);
```

Рисунок 16. Прототипи функцій

В файлі lxi.c визначаються глобальні змінні, а також структура опису стану програми (рис.17).

```
bit LXIEventPending = 0;
xdata lxi_event *msg;
xdata u32_t sequence = 0;

xdata struct {
    u8_t state;
    struct uip_udp_conn *conn;
} s;
```

Рисунок 17. Опис стану програми

Функція `lxi_request()` викликається, коли треба надіслати до мережі широкомовний пакет з інформацією про стан LXI-модуля. Функція створює нове підключення і визначає стан програми (рис.18).

```
void lxi_request(void) {
    u16_t addr[2];
    s.state = LXI_STATE_BROADCAST;
    LXIEventPending = 0;
    uip_ipaddr(addr, 255,255,255,255);
    if(s.conn == NULL) {
        s.conn = uip_udp_new(addr, HTONS(IANAportlxi_evntsvc));
        uip_udp_bind(s.conn, HTONS(IANAportlxi_evntsvc));
    }
}
```

Рисунок 18. Запит широкомовного пакету

Функція `lxi_arpcall()` викликається, якщо створене підключення, або надійшли вхідні дані на порт 5044. Функція визначає, чи встановлено флаг підтвердження (рис.19).

```
void lxi_appcall(void) {
    char i = 0;
    char buf[8];
    msg = (struct lxi_event *) uip_appdata;

    if( (msg->HWDetect[0] == 'L') &&
        (msg->HWDetect[1] == 'X') &&
        (msg->HWDetect[2] == 'I') ) {
        if(msg->flags && 0x08) {
            msg->flags = 0;
            if(s.conn != NULL) {
                s.conn = NULL;
            }
            s.state = LXI_STATE_NONE;
            return;
        }
    }
}
```

Рисунок 19. Перевірка флагу підтвердження

Визначається, чи має вхідний пакет ідентифікатор події "Data Request" (рис.20).

```
if( (msg->event_ID[0] == 'D') &&
    (msg->event_ID[1] == 'a') &&
    (msg->event_ID[2] == 't') &&
    (msg->event_ID[3] == 'a') &&
    (msg->event_ID[4] == ' ') &&
    (msg->event_ID[5] == 'R') &&
    (msg->event_ID[6] == 'e') &&
    (msg->event_ID[7] == 'q') &&
    (msg->event_ID[8] == 'u') &&
    (msg->event_ID[9] == 'e') &&
    (msg->event_ID[10] == 's') &&
    (msg->event_ID[11] == 't')) {
```

Рисунок 20. Перевірка ідентифікатора події

Якщо це так, то визначається тип фрейму, що буде відправлено у відповідь (рис.21).


```

switch (msg->dta[0]) {
    case LXI_STATE_DATAREQ_TEMP:
        LXIEventPending = 1;
        s.state = LXI_STATE_DATARESP_TEMP;
        break;
    case LXI_STATE_DATAREQ_LIGH:
        LXIEventPending = 1;
        s.state = LXI_STATE_DATARESP_LIGH;
        break;
    case LXI_STATE_DATAREQ_LED:
        LXIEventPending = 1;
        s.state = LXI_STATE_DATARESP_LED;
        break;
    default:
        if(s.conn != NULL) {
            s.conn = NULL;
        }
        s.state = LXI_STATE_NONE;
        break;
}

```

Рисунок 21. Визначення типу фрейму відповіді

Визначається стан програми. В залежності від цього формуються дані, що будуть міститись в пакеті. Після створення пакет передається до мережі. Наприклад, для широкомовного пакету передається інформація про температуру, освітленість і стан світлодіода (рис.22).

```

if (uip_poll()) {
    switch (s.state) {
        case LXI_STATE_BROADCAST:
            buf[0] = temperature >> 8;
            buf[1] = temperature & 0xFF;
            buf[2] = illuminance >> 8;
            buf[3] = illuminance & 0xFF;
            if(LED_ON) {
                buf[4] = 0xFF;
                buf[5] = 0xFF;
            } else {
                buf[4] = 0x00;
                buf[5] = 0x00;
            }
            buf[6] = 0x00;
            buf[7] = 0x00;
            create_msg(buf, 8);
            uip_udp_send(41+8);
            if(s.conn != NULL) {
                s.conn = NULL;
            }
            s.state = LXI_STATE_NONE;
        break;
    }
}

```

Рисунок 22. Створення широкомовного пакету

Широкомовний пакет, що сформовано мікроконтролерним LXI-модулем, наведено на рис.23.

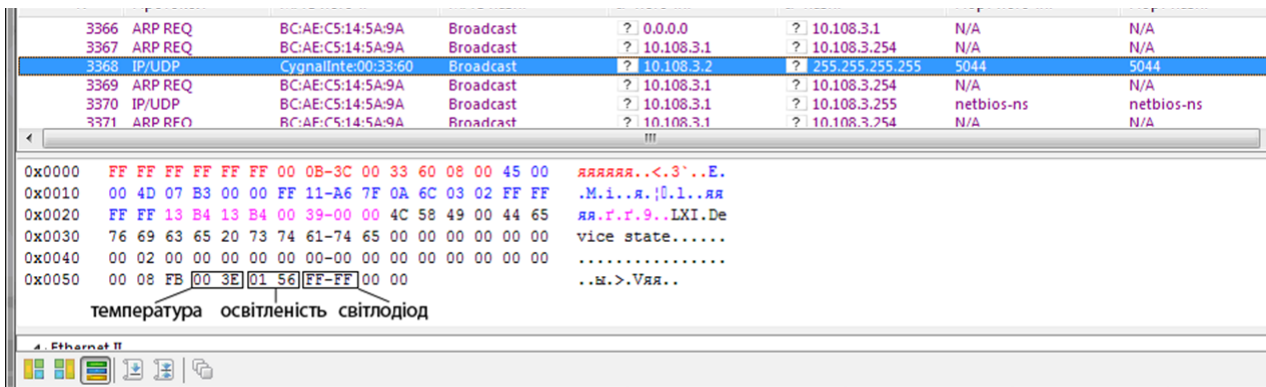


Рисунок 23. Широкомовний пакет від LXI-модуля

Для тестування відповіді від мікроконтролерного LXI-модуля було сформовано та відправлено пакет запити даних про освітленість, структуру якого наведено на рис.24.

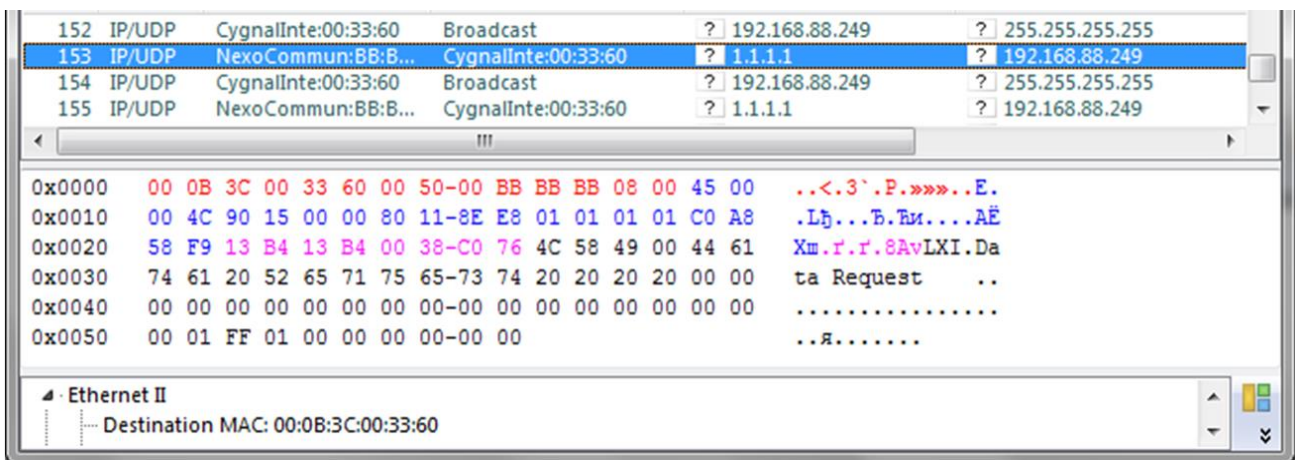


Рисунок 24. Пакет запити даних

Пакет з даними, що був коректно сформований мікроконтролерним LXI-модулем у відповідь наведено на рис.25.

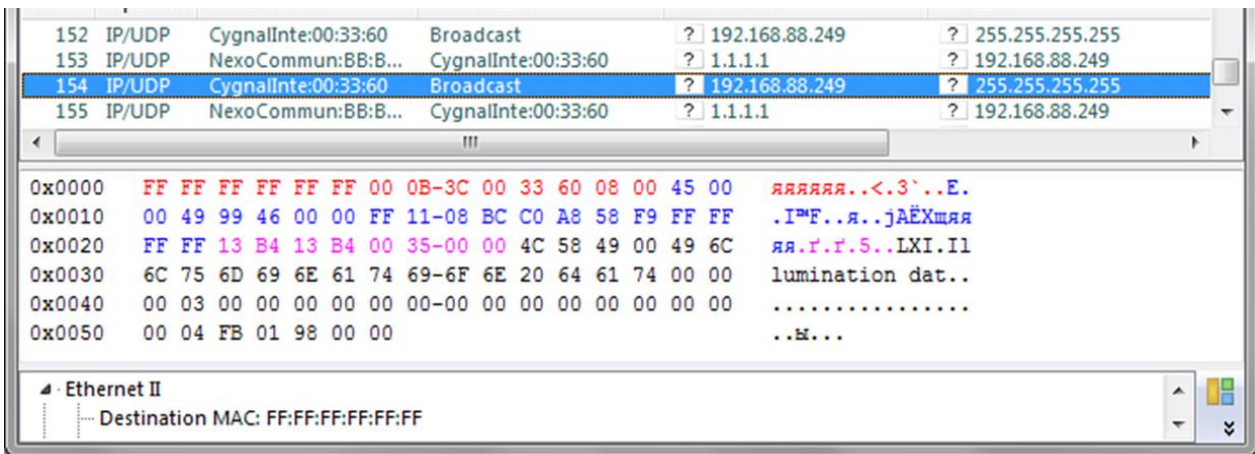


Рисунок 25. Пакет відповіді

Розробка програмного забезпечення динамічного конфігурування мікроконтролерних LXI-модулів на основі веб-форм за технологією CGI.

За стандартом LXI всі пристрої повинні підтримувати генерацію HTML веб-сторінки, яка повинна коректно відображатись W3C-сумісними браузером. Вбудований веб-сервер LXI-модуля повинен підтримувати протокол HTTP (версії 1.0 або вище). HTML-сторінки, що генеруються LXI-модулем повинні відповідати стандарту HTML (версії 4.01 або вище) або XHTML (версії 1.0 або вище).

LXI пристрої повинні підтримувати HTTP-з'єднання на порту 80 і відображати головну сторінку за замовчуванням. Навігаційні кнопки і гіперпосилання можуть надавати доступ до інших портів за бажанням авторів веб-сторінки.

На головній веб-сторінці приладу повинні бути відображені наступні дані: номер моделі приладу; інформацію про виробника; серійний номер приладу; опис приладу; LXI-клас приладу (A, B або C); версію стандарту LXI, згідно якої реалізовувався даний пристрій; назву хоста; MAC-адресу; TCP/IP адреси; номер версії програмної прошивки або програмного забезпечення; час IEEE 1588 (тільки для приладів класів A і B); адресу пристрою LXI (згідно стандарту VISA). Головна веб-сторінка приладу повинна містити гіперпосилання, що дозволять користувачеві налаштувати параметри пристрою LXI.

Перша пов'язана веб-сторінка повинна містити налаштування параметрів мережі, а друга пов'язана веб-сторінка повинна містити налаштування синхронізації пристрою. Сторінка налаштування мережі повинен містити наступні параметри: назву хоста; опис; режим конфігурації TCP/IP; IP-адресу; маску підмережі; шлюз за замовчуванням; DNS-сервер(и). Режим конфігурації вказує яким чином буде назначено IP-адресу пристрою – автоматично чи вручну. В ручному режимі для налаштування мережі користувач вводить статичну IP-адресу, маску підмережі і шлюз за замовчуванням. В автоматичному режимі для налаштування мережі використовується DHCP сервер або Dynamic Link Local Addressing (автоматичний IP).

Стандартом LXI рекомендується, щоб користувач мав доступ до сторінки статусу пристрою. Сторінка статусу повинна містити наступну інформацію: статус пристрою; помилки/попередження. Поле статусу повинно містити статус «зайнято» для будь-якого стану очікування для приладу, або будь-яку іншу інформацію статусу, специфічну для даного пристрою.

Веб-сторінки пристрою були розроблена на базі бібліотеки httpd, яка є частиною стеку uIP. Ця бібліотека була адаптована для роботи з запитамі методу POST, а також CGI-функціями для виведення динамічних даних.

Розроблені CGI-функції для одержання результатів вимірювань освітленості і температури наведені на рис.26.

```
static u8_t get_illuminance(u8_t next) {
    if(next) {
        return 1;
    }
    uip_send(uip_appdata, sprintf((char *)uip_appdata, "%d",
        illuminance));
    return 0;
}

static u8_t get_temperature(u8_t next) {
    if(next) {
        return 1;
    }
    uip_send(uip_appdata, sprintf((char *)uip_appdata, "%d",
        temperature));
    return 0;
}
```

Рисунок 26. Функції одержання результатів вимірювань

CGI-функція для відображення стану LXI-модуля надає наступну інформацію: дані про температуру та освітленість, стан світлодіоду, кількість відправлених і отриманих повідомлень LXI (рис.27).

```

static u8_t device_state(u8_t next){
    char data ledState[30];

    if(next) {
        return 1;
    }
    if(LED_00){
        sprintf((char *)ledState,"<font color=\"green\">ON</font>\0");
    } else {
        sprintf((char *)ledState,"<font color=\"red\">OFF</font>\0");
    }
    uip_send(uiplib_appdata, sprintf((char *)uiplib_appdata,
        "<p><b>Temperature value:</b> %d °C</p>"
        "<p><b>Illuminance value:</b> %d lux</p>"
        "<p>The LED is %s</p>"
        "<p><a href=\"/cgi/led_on\">Turn the LED on</a></p>"
        "<p><a href=\"/cgi/led_off\">Turn the LED off</a></p>"
        "<p><b>LXI event messages sent:</b> %d</p>"
        "<p><b>LXI event messages received:</b> %d</p>",
        temperature,
        illuminance,
        ledState,
        sent_lxi_packets,
        received_lxi_packets
    ));
    return 0;
}
    
```

Рисунок 27. Функція відображення стану модуля

Веб-сторінка відображення стану для макету мікроконтролерного LXI-модуля наведено на рис.28.

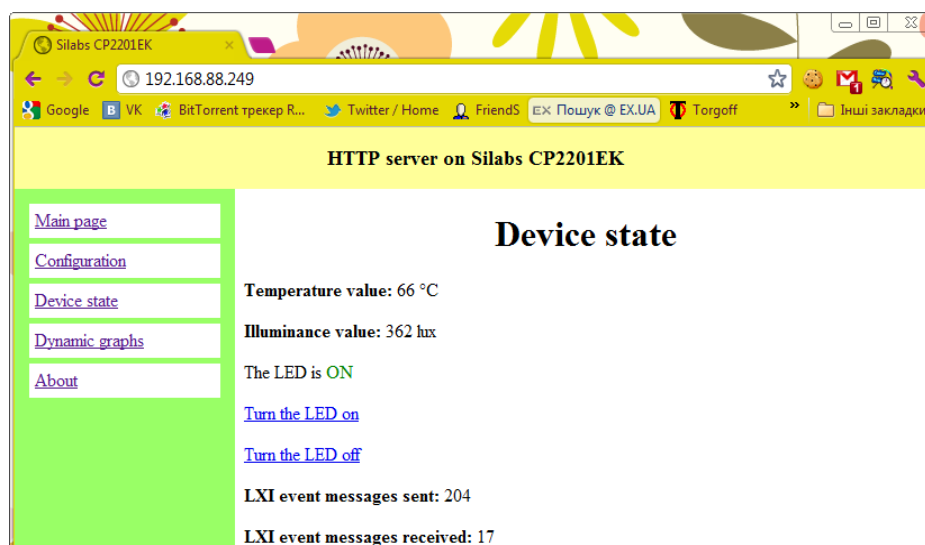


Рисунок 28. Сторінка стану LXI-модуля

CGI-функція для відображення головної сторінки виводить наступну інформацію: хост пристрою, IP-адресу, маску підмережі, шлюз за замовчуванням та MAC-адресу. Головну сторінку веб-інтерфейсу для мікроконтролерного LXI-модуля наведено на рис.29.

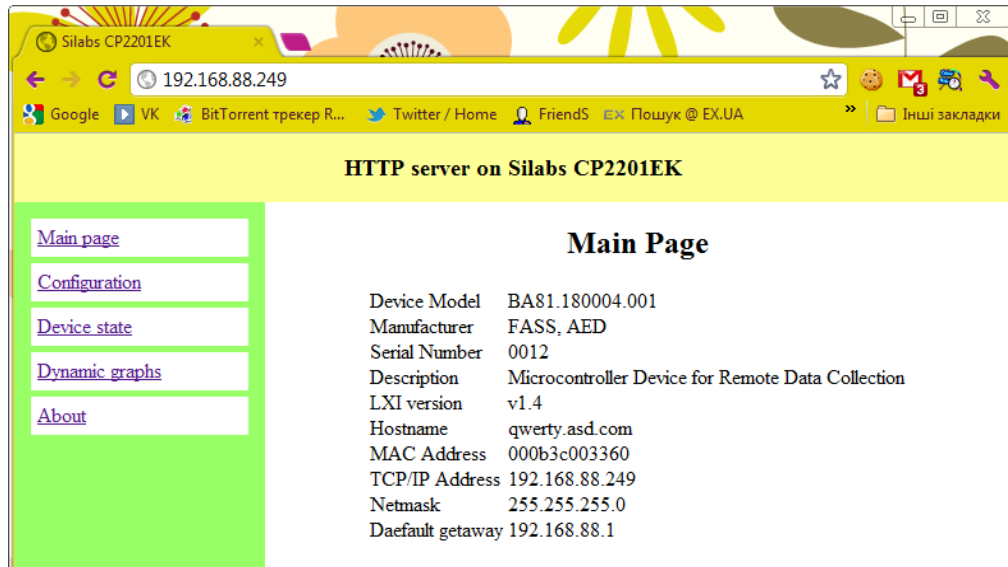


Рисунок 29. Головна сторінка опису мікроконтролерного LXI-модуля

CGI-функція для виведення форми редагування параметрів протоколу TCP/IP виводить частини веб-форми послідовно. Частина функції, яка формує поля для введення IP-адреси, наведена на рис.30, інші частини форми генеруються аналогічно.

```

case 1:
    uip_send(uip_appdata, sprintf((char *)uip_appdata,
"<Table width=\"500\"><TR><td width=\"200\" valign=\"middle\" \"
\"align=\"left\">IP Address:</td>\"
\"<td><input size=\"3\" name=\"T20\" value=\"%i\" /><B>.</B>\"
\"<input size=\"3\" name=\"T21\" value=\"%i\" /><B>.</B>\"
\"<input size=\"3\" name=\"T22\" value=\"%i\" /><B>.</B>\"
\"<input size=\"3\" name=\"T23\" value=\"%i\" /></td></tr></table>\",
        (htons (uip_hostaddr[0]) >> 8),
        (htons (uip_hostaddr[0]) & 0xff),
        (htons (uip_hostaddr[1]) >> 8),
        (htons (uip_hostaddr[1]) & 0xff));
    break;

```

Рисунок 30. Формування полів для введення IP-адреси

Сторінку налаштування мікроконтролерного LXI-модуля наведено на рис.31.

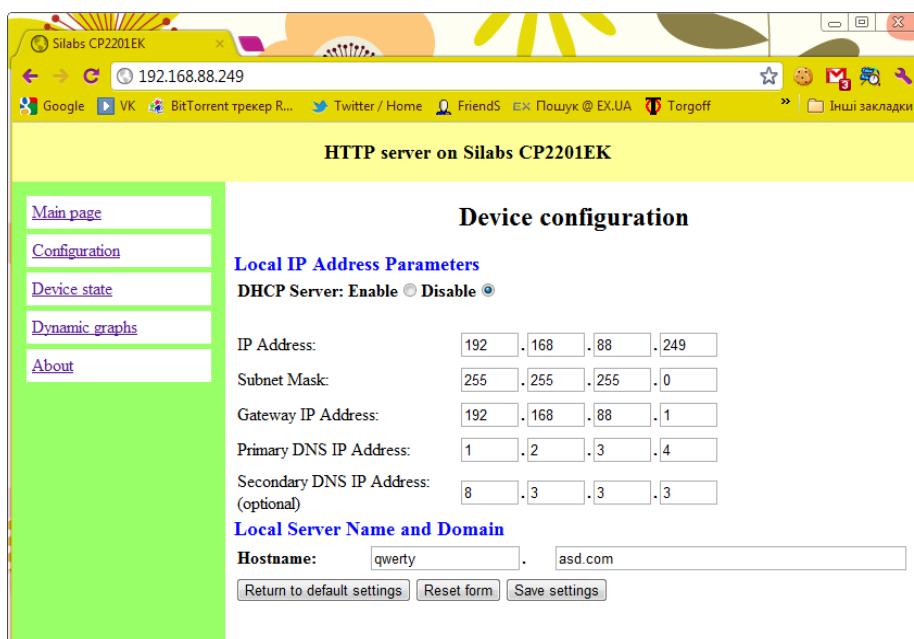


Рисунок 31 – Сторінка налаштування LXI-модуля

Для реалізації динамічного виведення графіку даних використовувався формат SVG – формат файлів для двовимірної векторної графіки. Оновлення даних на SVG-графіку реалізовано за допомогою скрипта, розробленого мовою JavaScript з використанням технології AJAX. Веб-сторінка з графічним відображенням результатів вимірювання температури наведена на рис.32.

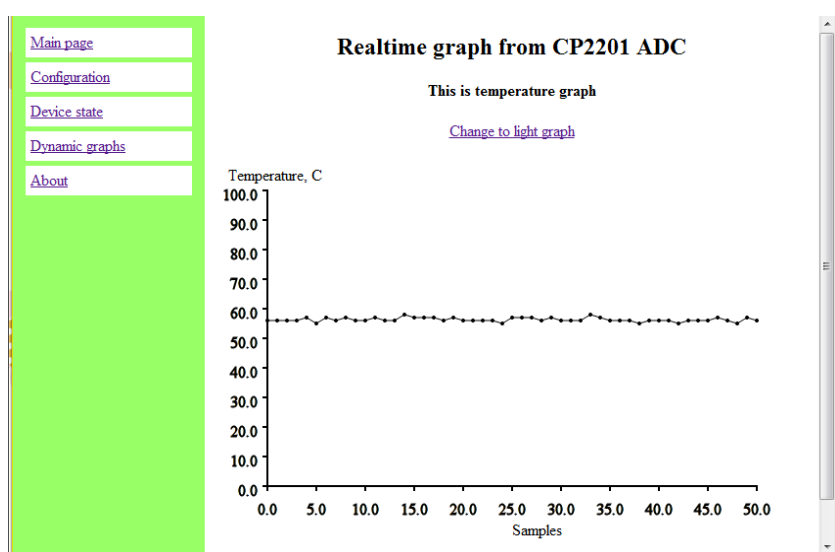


Рисунок 32. Результати вимірювання температури

Висновки. Розроблено типові рішення для реалізації апаратно-програмного забезпечення LXI-сумісних вимірювальних модулів на основі мікроконтролерних технологій. Їх використання дозволяє суттєво спростити організацію мережевих Ethernet-систем збору та аналізу даних, розробку систем на основі єдиного відкритого стандарту, забезпечує можливості інтеграції систем з виробами відомих світових виробників, їх апаратну та програмну сумісність.

8.3 Сукупність методів підвищення оперативності прийняття рішень в системах підтримки прийняття рішень

Оптимізація є складним процесом визначення множини рішень для різноманітних функції. Багато управлінських рішень сьогодення належать саме від успішного вирішення оптимізаційних завдань [209-243]. При вирішенні завдань оптимізації змінні рішення визначаються таким чином, щоб складні динамічні об'єкти працювали в своїй найкращій по визначеному критерію оптимізації точці (режимі).

По своїй суті проблеми оптимізації складних динамічних об'єктів є розривними, недиференційованими, а також мультимодальними. Таким чином класичні градієнтні детерміновані алгоритми [243-274] для вирішення завдань оптимізації складних динамічних об'єктів використовувати недоцільно.

Щоб подолати недоліки класичних алгоритмів оптимізації для вирішення проблем оптимізації складних динамічних об'єктів, була створена значна кількість алгоритмів стохастичної оптимізації, відомих як популяційні алгоритми [275-294].

8.3.1. Розробка методу управління потоками інформації в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень з використанням популяційного алгоритму

Метод управління потоками інформації в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень (ІСППР) з використанням популяційного алгоритму складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. На даному етапі вводяться вихідні дані, що наявні про джерела інформації ІСППР, наявні канали передачі інформаційних потоків та ін.

Дія 2. Ініціалізація та формування групи АБВ. На даному етапі генеруються

початкові випадкові набори рішень, що представляють групи АБВ, з позначеними запахами лап окремих індивідів АБВ, які розглядаються як змінні рішення з сукупності наборів рішень. Математичне представлення випадково вибраної групи АБВ у межах їх певної території представлено наступним рівнянням:

$$P_{i,j} = P_{i,j}^{\min} + \left(\lambda (P_{i,j}^{\max} - P_{i,j}^{\min}) \right) \gamma, \quad (1)$$

де λ – випадкове число в діапазоні від 0 до 1, $P_{i,j}$ – i -те позначення лапи j -ї групи АБВ. Здійснюється розміщення сукупності АБВ у порядку зростання значень $f(P_i)$, обрання найкращого (P_i^{best}) та найгіршого рішення (P_i^{worst}), γ – ступінь невизначеності даних про інформаційні потоки в ІСППР. Також на даному етапі визначається цільова функція $f(P)$, розмір популяції (m) зграї АБВ, встановлюється кількість змінних (n), обмеження на значення змінних (LB, UB) і критерій завершення роботи алгоритму (FE_{max}). Група бурих ведмедів вважається частиною популяції АБВ ($i = 1, 2, \dots, m$), а рівні АБВ у групі розглядаються як змінні рішення ($j = 1, 2, \dots, n$).

Дія 3. Нумерація АБВ в популяції, $i, i \in [0, S]$. На даному етапі кожному АБВ популяції присвоюється порядковий номер.

Дія 4. Визначення початкової швидкості АБВ популяції.

Початкова швидкість v_0 кожного АБВ популяції визначається наступним виразом:

$$v_i = (v_1, v_2 \dots v_s), v_i = v_0. \quad (2)$$

У плануванні запропонованого підходу позиція АБВ популяції в просторі вирішення проблем оновлюється на основі моделювання стратегій розвідки та експлуатації.

Дія 5. Попереднє оцінювання ділянки пошуку АБВ. В даній процедурі ділянка пошуку на природній мові визначається саме ореолом існування АБВ. Враховуючи, що джерела їжі АБВ різноманітні, проведемо сортування якості їжі.

Дія 6. Класифікація джерел їжі для АБВ.

Місцезнаходження найкращого джерела їжі (тобто мінімальна придатність) вважається (FS_{ht}) рослина їжа: ягоди, жолуді, горіхи, корені, клубні трав, яка знаходиться поряд та вимагає найменшої витрати енергії для її пошуку та здобування. Делікатесну їжу – мед позначимо як FS_{at} .

Інші не пріоритетні джерела харчування (їжа, яка необхідна для виживання особин) позначимо як FS_{nt} :

$$FS_{ht}=FS(\text{sorte_index}(1)), \quad (3)$$

$$FS_{at}(1:4)=FS(\text{sorte_index}(1:4)), \quad (4)$$

$$FS_{nt}(1:NP-4)=FS(\text{sorte_index}(4: NP)). \quad (5)$$

Дія 7. Вибір техніки ходи АБВ.

Дія 7.1 Повертання ніг при ходьбі АБВ.

В зазначеній дії передбачається особлива манера ходьби, коли АБВ повертають ноги, щоб уникнути попередніх западин на землі, і обережно крокують до необхідного місця. Ця спеціальна поведінка при ходьбі АБВ найчастіше спостерігається у самців АБВ. Математично цю поведінку можна змоделювати, як:

$$P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} - (\theta_k \alpha_{i,j,k} P_{i,j,k}^{old}), \quad (6)$$

де $P_{i,j,k}^{new}$ – оновлена мітка запаху лапи на k -й ітерації i -ї групи, створеної j -ою міткою лапи, θ_k – коефіцієнт повторюваності, що приймає значення від 0 до 1; $\alpha_{i,j,k}$ – випадкове число в діапазоні від 0 до 1.

Дія 7.2 Обережний крок АБВ.

Характеристика обережного кроку АБВ передбачає повторення відбитків лап шляхом перевірки попередньо позначених лап. Така поведінка допомагає ефективно попередити інших членів групи. Рівняння (7) представляє математичне формулювання техніки обережного кроку АБВ, яка спостерігається у АБВ:

$$P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} + F_k (P_{j,k}^{best} - L_k P_{j,k}^{worst}), \quad (7)$$

де F_k – коефіцієнт кроку; $P_{j,k}^{best}$, $P_{j,k}^{worst}$ – j -та найкраща і найгірша оцінка лапи АБВ на k -ій ітерації; L_k – довжина кроку АБВ на певній ітерації.

Дія 7.3 Скручування лап АБВ.

Третя унікальна поведінка при ходьбі, яка спостерігається у бурих ведмедів – це скручування лап. Самці бурого ведмедя зазвичай скручують ноги у попередньо сформовані сліди від лап, роблячи їх глибшими та виразнішими для легшої ідентифікації. Вибір типу сліду лапи базується на найгірших і найкращих слідах запаху лап АБВ, визначені в попередній ітерації. Математичне представлення поведінки скручених ніг описано рівнянням (8).

$$P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} + \omega_{i,k} (P_{j,k}^{best} - P_{i,j,k}^{old}) - \omega_{i,k} (P_{j,k}^{worst} - P_{i,j,k}^{old}), \quad (8)$$

де $\omega_{i,k}$ – кутова швидкість ніг на i -й мітці лапи та k -й ітерації.

Дія 8. Розміщення сукупності АБВ. На даному етапі здійснюється розміщення АБВ у порядку зростання значень цільової функції $f(P_i)$ і обирається найкраще (P_i^{best}) і найгірше рішення (P_i^{worst}).

Дія 9. Створення нової популяції АБВ:

$$P_{i,k}^{new} = P_{i,k}^{old} - (\theta_k \alpha_{i,k} P_{i,k}^{old}) \quad (9)$$

де $F_k = \beta_{1,k} \cdot \theta_k$, $L_k = 1 + \beta_{2,k}$ та $\beta_{1,k} \in \beta_{2,k}$ – випадкове число в діапазоні [208, с.1].

Дія 10. Розміщення сукупності АБВ. На даному етапі здійснюється розміщення АБВ у порядку зростання значень цільової функції $f(P_i)$ і обирається найкраще (P_i^{best}) і найгірше рішення (P_i^{worst}).

Дія 11 Обнюхування АБВ. Суть поведінки АБВ полягає в тому, що АБВ нюхають один одного, щоб слідувати по слідам запаху членів своєї групи в правильному напрямку. Крім того, АБВ використовують обнюхування, щоб встановити власну територію та уникнути введення в оману слідами запаху лап інших АБВ. Математична модель поведінки обнюхування задана формулою (10):

$$P_{m,j,k}^{new} = \begin{cases} P_{m,j,k}^{old} + \lambda_{i,k} (P_{m,j,k}^{old} - P_{n,j,k}^{old}), & \text{if } f(P_{m,k}^{old}) < f(P_{n,k}^{old}), \\ P_{m,j,k}^{old} + \lambda_{i,k} (P_{n,j,k}^{old} - P_{m,j,k}^{old}), & \text{if } f(P_{n,k}^{old}) < f(P_{m,k}^{old}), \end{cases} \quad (10)$$

де $\lambda_{i,k}$ – рівномірно розподілене випадкове число, що знаходиться в діапазоні від 0 до 1; $P_{m,j,k}^{new}$ – оновлене розташування запаху на лапі з $m \neq n$;

$P_{m,k}^{old}$ та $P_{n,k}^{old}$ – значення функції придатності на k -й ітерації m і n груп відповідно. Процес оновлення для всіх описаних етапів застосовується до кожної групи АБВ, поки не буде виконано необхідний критерій.

Дія 12. Перевірка критерію зупинки. Алгоритм завершується, якщо виконано максимальну кількість ітерацій. В іншому випадку поведінка генерації нових місць і перевірки умов повторюється.

Дія 13. Навчання баз знань АБВ.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного АБВ використовується розроблений у дослідженні [210] метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного АБВ, для більш точних результатів аналізу в подальшому.

Дія 14. Визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

З метою недопущення зациклювання обчислювань на діях 1–10 даного методу, 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 [239].

Кінець алгоритму.

Запропонований метод управління потоками інформації в ІСППР з використанням популяційного алгоритму. Для визначення ефективності запропонованого методу, проведено моделювання його роботи для вирішення завдання потоками інформації в ІСППР.

Ефективність методу управління потоками інформації в ІСППР з використанням популяційного алгоритму порівнюється за допомогою функцій – вигляд яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Оцінка ефективності запропонованого методу управління за критерієм оперативності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Канонічний алгоритм бурих ведмедів	Удосконалений алгоритм бурих ведмедів
U22-1	Середнє значення	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
	Стандартне значення	2.17547E-07	1.94448E-07	1.73866E-07	1.73121E-07	1.51021E-07	1.72168E-07
B22-2	Середнє значення	400	400.265772	400.7973158	400.265772	400.3986579	400.5315439
	Стандартне значення	4.9898E-08	1.011427534	1.621892282	1.011427535	1.216419212	1.378343398
B22-3	Середнє значення	600.0071815	600.0644622	600.0240021	600.012832	600.031303	600.0449987
	Стандартне значення	0.021632777	0.184980091	0.115606243	0.053463097	0.147011513	0.101164243
B22-4	Середнє значення	826.5653461	827.3281442	823.8789639	826.3000191	826.2668486	825.7693662
	Стандартне значення	9.13817552	8.364210734	11.308069638	8.186625055	9.136107323	10.05991317
B22-5	Середнє значення	900.743876	900.9504411	900.9726169	900.8007883	900.5452042	901.2016312
	Стандартне значення	0.781626306	1.424558753	1.275779755	0.903385622	0.635781924	1.598982565
B22-6	Середнє значення	1888.524629	1874.869967	1876.294359	1847.184924	1888.926953	1842.878175
	Стандартне значення	127.2561383	91.22185049	69.00003268	32.76980351	140.693674	31.32108747
H22-7	Середнє значення	2027.479588	2030.758499	2029.556604	2032.238674	2028.177978	2029.128603
	Стандартне значення	6.106897592	8.027195324	5.81348717	7.446489204	8.003968446	8.197733191
H22-8	Середнє значення	2223.108804	2223.537417	2222.070633	2223.140251	2220.888475	2220.690533
	Стандартне значення	4.749655105	2.963408213	4.895282849	3.995669404	5.451654006	6.337353983

Продовження таблиці 1

H22-9	Середнє значення	2510.930321	2510.930321	2536.358938	2498.216012	2523.644629	2498.216012
	Стандартне значення	65.93880108	65.93880108	85.778947	48.38585173	77.58997694	48.38585173
C22-10	Середнє значення	2594.615905	2596.833927	2585.256107	2591.210109	2605.304194	2619.308989
	Стандартне значення	48.2013289	49.71807546	57.1034079	56.36586785	42.57395199	34.10382553
C22-11	Середнє значення	2695.981932	2685.587394	2733.855734	2710.621315	2700.168413	2715.332781
	Стандартне значення	116.3652035	110.1475838	146.333679	118.5098748	113.7913849	109.3008673
C22-12	Середнє значення	2857.067086	2858.742176	2854.959949	2861.414681	2859.407788	2860.718769
	Стандартне значення	9.364347909	14.88960231	5.539104327	17.96133754	15.00545163	16.34731781

В таблиці 2 наведено результати оцінки достовірності прийнятих рішень для кожного з методів оптимізації рішень для управління інформаційними потоками ІСППР.

Таблиця 2

Оцінка ефективності запропонованого методу управління за критерієм достовірності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Канонічний алгоритм бурих ведмедів	Удосконалений алгоритм бурих ведмедів
U22-1	Середнє значення	0,66	0,73	0,67	0,68	0,8	0,9
	Стандартне значення	0,7	0,73	0,68	0,69	0,83	0,91
B22-2	Середнє значення	0,7	0,73	0,7	0,71	0,77	0,89
	Стандартне значення	0,71	0,73	0,72	0,72	0,76	0,9
B22-3	Середнє значення	0,68	0,73	0,7	0,71	0,76	0,92

	Стандартне значення	0,69	0,73	0,69	0,73	0,77	0,91
B22-4	Середнє значення	0,67	0,74	0,7	0,72	0,78	0,93
	Стандартне значення	0,67	0,72	0,67	0,72	0,79	0,92
B22-5	Середнє значення	0,6	0,71	0,64	0,73	0,8	0,91
	Стандартне значення	0,61	0,72	0,64	0,74	0,88	0,92
B22-6	Середнє значення	0,64	0,73	0,66	0,77	0,85	0,93
	Стандартне значення	0,66	0,75	0,66	0,78	0,83	0,92
H22-7	Середнє значення	0,67	0,72	0,68	0,75	0,81	0,9
	Стандартне значення	0,68	0,71	0,69	0,74	0,83	0,9
H22-8	Середнє значення	0,68	0,74	0,69	0,75	0,84	0,93
	Стандартне значення	0,65	0,74	0,67	0,77	0,81	0,91
H22-9	Середнє значення	0,64	0,75	0,66	0,69	0,83	0,91
	Стандартне значення	0,7	0,72	0,71	0,71	0,84	0,93
C22-10	Середнє значення	0,69	0,71	0,7	0,72	0,8	0,94
	Стандартне значення	0,68	0,71	0,7	0,73	0,8	0,91
C22-11	Середнє значення	0,67	0,71	0,69	0,71	0,82	0,91
	Стандартне значення	0,67	0,72	0,68	0,74	0,91	0,91
C22-12	Середнє значення	0,63	0,73	0,65	0,75	0,82	0,91
	Стандартне значення	0,62	0,74	0,66	0,76	0,83	0,91

З аналізу табл. 1, 2 можна зробити висновки що запропонований метод забезпечую стабільну роботу алгоритму для основних тестових функцій унімодального та мультимодального виду.

Як видно з табл. 1–2 підвищення оперативності прийняття рішень досягається на рівня 15–18 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

8.3.2. Метод оцінки оперативності обробки різнотипних даних в системах підтримки прийняття рішень

Найбільш перспективним варіантом підвищення наслідок ефективності функціонування ІСППР є підвищення ефективності обробки різнотипних даних в них за визначеними показниками (критеріями). Одним зі шляхів підвищення ефективності обробки різнотипних даних є використання підходів, заснованих на штучному інтелекті.

Враховуючи особливості функціонування ІСППР, що передбачає обробку структурованих та неструктурованих даних, зберігання як оброблених так і не оброблених масивів даних, то найбільш доцільним є використання біоінспірованих алгоритмів.

Практичне використання біоінспіровані алгоритми знайшли як для вирішення практичних завдань як у повсякденному житті (інженерні розрахунки, обробка великих масивів даних), так і суто спеціальних завдань, таких як оцінка оперативної обстановки.

Але більшість згаданих вище базових біоінспірованих алгоритмів не в змозі збалансувати дослідження та використання, що призводить до незадовільної продуктивності для реальних складних завдань оптимізації.

Цей спонукає до впровадження різноманітних стратегій для покращення швидкості збіжності та точності основних біоінспірованих алгоритмів. Один з варіантів підвищення оперативності прийняття рішень за допомогою

біоінспірованих алгоритмів їх комбінування, тобто додавання базових процедур одного алгоритму в інший.

Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно вирішити наступні взаємопов'язані часткові завдання дослідження:

- розробити алгоритм реалізації методу;
- провести оцінку ефективності запропонованого методу.

Метою дослідження є розробка методу підвищення оперативності прийняття рішень в ІСППР.

У даному розділі дослідження запропонований підхід з оцінки ефективності обробки різнотипних даних в ІСППР, заснований на імітації снігової абляції. Зазначений підхід використаний з припущення про те, що коли відбувається перехід ІСППР з одного режиму функціонування на інший відбувається суттєве збільшення кількості інформації, що циркулює в системах підтримки прийняття рішень. Тому саме на даному етапі відбувається суттєве збільшення кількості інформації, яку потрібно обробити і відповідно оцінити якість її обробки за визначеним показником оцінки ефективності її оцінки.

Дія 1. Ініціалізації початкової популяції.

Процес функціонування алгоритму снігової абляції (АСА) починається з формування початкової популяції, який генерується випадковим чином. Відповідно до кількості джерел інформації, які додатково включаються в роботу (переходять на інший режим функціонування) відбувається визначення кількості пошукових агентів в популяції.

Вся популяція представляється в вигляді матриці зі стовпцями Dim і N рядками, де N – розмір рою, а Dim – кількість вимірів у просторі рішень для агентів популяції (11):

$$Z = L + (\theta \times (U - L))_t = \begin{bmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \cdots & z_{1,Dim-1} & z_{1,Dim} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \cdots & z_{2,Dim-1} & z_{2,Dim} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{N-1,1} & z_{N-1,2} & \cdots & z_{N-1,Dim-1} & z_{N-1,Dim} \\ z_{N,1} & z_{N,2} & \cdots & z_{N,Dim-1} & z_{N,Dim} \end{bmatrix}_{N \times Dim}, \quad (11)$$

L та U – нижня та верхня межі простору рішення відповідно; θ – випадково згенероване число в діапазоні $[208, 209]$, ι – тип невизначеності даних, що циркулюють в системах підтримки прийняття рішень.

Дія 3. Нумерація агентів в популяції, $i, i \in [0, S]$. На даному етапі кожному агенту в популяції присвоюється порядковий номер.

Дія 4. Визначення початкової швидкості агентів в популяції.

Початкова швидкість v_0 кожного агента в популяції визначається наступним виразом:

$$v_i = (v_1, v_2 \dots v_S), v_i = v_0. \quad (12)$$

У плануванні запропонованого підходу позиція кожного агента популяції в просторі вирішення проблем оновлюється на основі моделювання стратегій розвідки та експлуатації.

Фаза розвідки.

Дія 5. Попереднє оцінювання площини пошуку агентами популяції. В даній процедурі ділянка пошуку на природній мові визначається саме площею танення снігу.

Дія 6. Визначення найбільш слабких місць снігового покриву.

Кількість слабких місць снігового покриву суттєво залежить від температурних показників (T) оточуючого середовища, і інтенсивності сонячного випромінювання і розраховуються відповідно до рівнянь (13), (14):

$$T = \exp\left(\frac{-t}{t_{\max}}\right), \quad (3)$$

$$FQ = c_1 \exp\left(\frac{t - t_{\max}}{t_{\max}}\right), \quad (14)$$

де t – номер поточної ітерації, а t_{\max} – загальна кількість ітерацій, c_1 – коефіцієнт танення снігового покриву для кожного діапазону температур.

В даному алгоритмі агенти обирають найбільш слабкі місця снігового покриву відповідно до c_1 , потім агенти оновлюють позицію.

Для систем підтримки прийняття рішень дана процедура призначена для визначення найбільш завантажених інформаційних потоків ІСППР.

Дія 7. Рух агентів на площині пошуку.

Через непостійний рух пошукові агенти демонструють високу децентралізованість, коли сніг або рідка вода, яка колись була снігом, перетворюється на пару. Для опису даного процесу використовується броунівський рух. Для типового броунівського руху розмір кроку визначається функцією щільності ймовірності на основі нормального розподілу з нульовим середнім математичним очікуванням і дисперсією одиницею:

$$f_{BM}(x;0,1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right), \quad (15)$$

Нижче наведено формулу для визначення позицій пошукових агентів протягом усього процесу дослідження:

$$Z_i(t+1) = Elite(t) + BM_i(t) \otimes (\theta_1 \times (G(t) - Z_i(t)) + (1 - \theta_1) \times (\bar{Z}(t) - Z_i(t))), \quad (16)$$

де \otimes – операція множення на основі входу; θ_1 – випадкове число з діапазону [208,209]; $Z_i(t)$ – i -та особа під час t -ї ітерації; $BM_i(t)$ – вектор, що включає випадкові значення на основі розподілу Гауса, що позначають броунівський рух; $\bar{Z}(t)$ – центроїд положення всієї популяції; $Elite(t)$ – випадково обраний член групи з множини елітних особин у популяції; $G(t)$ – поточне найкраще рішення. Нижче наведені відповідні математичні вирази, які описують змінні з виразу (16):

$$\bar{Z}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i(t). \quad (17)$$

$$Elite(t) \in [G(t), Z_{second}(t), Z_{third}(t), Z_c(t)], \quad (18)$$

де $Z_{third}(t)$ і $Z_{second}(t)$ – третя та друга найкращі особини в поточній популяції.

Положення центроїда тих особин популяції, чий показники потрапили до верхніх 50%, позначається $Z_c(t)$.

$Z_c(t)$ розраховується за допомогою рівняння (19):

$$Z_c(t) = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} Z_i(t), \quad (19)$$

де $Z_i(t)$ – i -тий найкращий лідер, N_i – кількість лідерів у популяції. У результаті еліта обирається випадковим чином із набору, який включає розташування центроїда лідерів, поточне найкраще рішення, другу та третю найкращі особини під час кожної ітерації.

Фаза експлуатації.

Дія 8. Пошук рішень агентами популяції на площині пошуку.

Для опису процесу танення снігового покриву в даному дослідженні використовується метод градусних днів, який є однією з найбільш часто використовуваних моделей танення снігу і використовується для зображення процесу тнення:

$$M = DDF \times (T - T_1), \quad (20)$$

де M – швидкість танення снігу; T – середньодобова температура, $T_1 = 0$.

Відповідно до цього M розраховується за наступним математичним виразом:

$$M = DDF \times T, \quad (21)$$

де DDF – коефіцієнт, який змінюється в діапазоні від 0,35 до 0,6. Нижче наведено математичний вираз оновлення DDF на кожній ітерації:

$$DDF = 0.35 + 0.25 \times \frac{e^{\frac{t}{t_{\max}}} - 1}{e - 1} \quad (22)$$

де t_{\max} – умова зупинки роботи алгоритму.

Швидкість танення снігового покриву розраховується за наступною формулою:

$$M = \left(0.35 + 0.25 \times \frac{e^{\frac{t}{t_{\max}}} - 1}{e - 1} \right) \times T(t), T(t) = e^{\frac{-t}{t_{\max}}} \quad (23)$$

Дія 9. Оновлення позицій агентів популяції на площині пошуку.

Рівняння оновлення позиції агентів на площині пошуку показано таким чином на етапі експлуатації ОСА:

$$Z_i(t+1) = M \times G(t) + VM_i(t) \otimes (\theta_2 \times (G(t) - Z_i(t)) + (1 - \theta_2) \times (\bar{Z}(t) - Z_i(t))), \quad (24)$$

де θ_2 – випадкове ціле число з діапазону $[-1,1]$, M – швидкість танення снігу.

Дія 10. Навчання баз знань.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного агента популяції використовується розроблений у дослідженні [210] метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного агента популяції, для більш точних результатів аналізу в подальшому.

Дія 11. Визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

З метою недопущення зациклювання обчислювань на діях 1–10 даного методу, та підвищення оперативності обчислювань додатково визначається завантаженість систем підтримки прийняття рішень. При перевищенні визначеного порогу обчислювальної складності визначається кількість програмно-апаратних ресурсів які необхідно додатково залучити, за допомогою методу, запропонованого в роботі [239].

Кінець алгоритму.

Проведемо аналіз ефективності запропонованого алгоритму по критерію оперативності прийняття рішень, наведеного в таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняльний аналіз алгоритмів з відомими по критерію оперативності прийняття рішень

Назва алгоритму	Краще рішення	Середнє значення	Гірше рішення	Середньоквадратичне відхилення	Медіанне значення
Удосконалений алгоритм снігової абляції	0.012672	0.012701	0.012706	0.001106	0.012700
Алгоритм білих акул	0.012722	0.012754	0.012766	0.007391	0.012744
Алгоритм насінь дерева	0.012782	0.012799	0.01283	0.00567	0.012802
Алгоритм бджолоїної колонії	0.012786	0.012812	0.012836	0.004191	0.012815
Алгоритм зграї пінгвінів	0.013305	0.014951	0.018023	0.002293	0.013312

Продовження таблиці 3

Метод зграї сірих вовків	0.012926	0.014594	0.018	0.001636	0.014147
Канонічний алгоритм снігової абляції	0.012983	0.01356	0.01434	0.000289	0.013488
Метод рою частинок	0.013147	0.014162	0.016398	0.002092	0.013119
Генетичний алгоритм	0.012885	0.013188	0.015352	0.000378	0.013069

Наведені в таблиці 3 результати моделювання свідчать про підвищення оперативності обробки різнотипних даних на рівні 13–17 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

8.3.3. Метод оцінки та прогнозування в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень

Для забезпечення можливості здійснення аналізу стану об'єкту моніторингу та забезпечення прогнозування його стану пропонується застосувати системний підхід для аналізу та прогнозування його стану.

На рис. 1 представлена структурна схема системи управління процесом аналізу та прогнозування стану об'єкту яка поділяється на [219, 238]:

- 1) управляючу підсистему (суб'єкт управління, S);
- 2) управляєму підсистему (об'єкт управління, O);
- 3) модель об'єкта (в даному випадку нечітка когнітивна модель Y). Нечітка когнітивна модель використовується у зв'язку з тим, що стан об'єкту аналізу як правило характеризують як числові та і якісні показники. Це вимагає приведення їх до єдиної одиниці виміру.

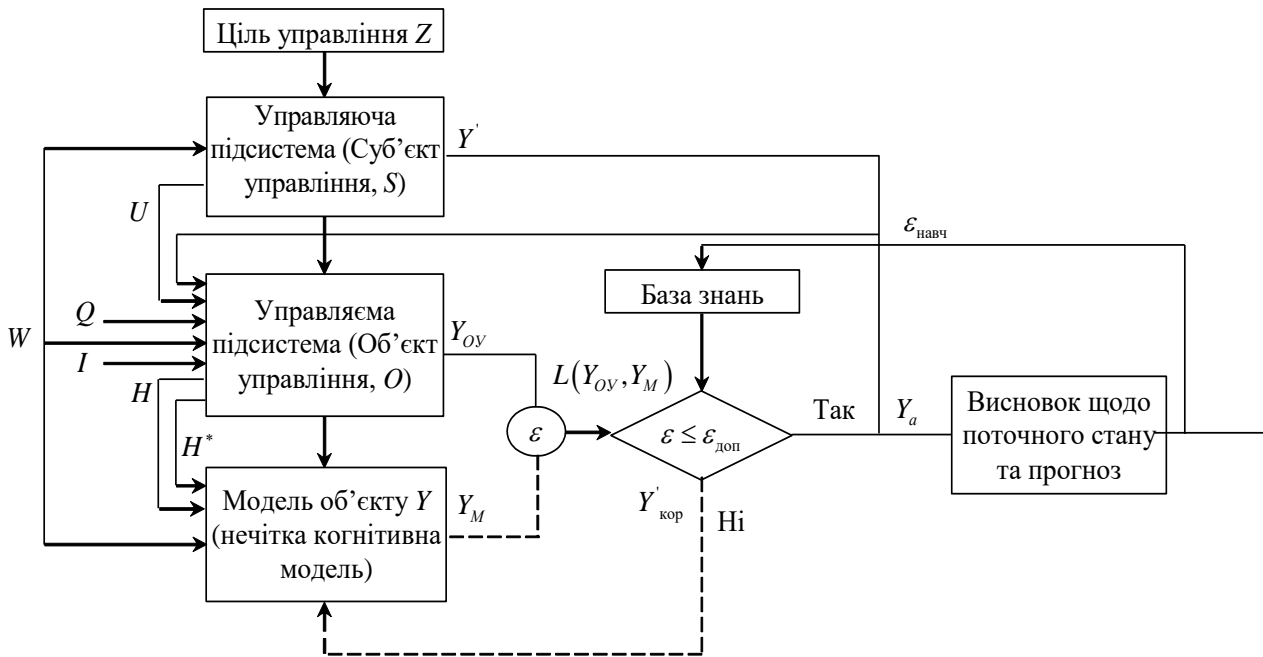


Рис. 1. Структурна схема системи аналізу та прогнозування стану об'єкту

Наведемо пояснення змінних які наведені на рис. 1:

W – зовнішня інформація;

Q – ресурси системи необхідні для аналізу та прогнозування стану об'єкту;

H – внутрішня інформація необхідна для побудови нечітких когнітивних моделей (НКМ);

H^* – виправлена помилка;

U – керуючий вплив (прийняття управлінських рішень, команди управління) (прямий зв'язок);

Y_{OY} – вихідна інформація (фактичні дані, параметри, показники), що характеризує стан об'єкта управління;

Y_M – вихідні параметри моделі (бажані, очікувані параметри);

ε – помилка (неузгодженість);

$\varepsilon_{доп}$ – фіксоване задане значення;

$L(Y_{OY}, Y_M)$ – перевірка відповідності даних, отриманих на основі моделі, реальному об'єкту, для опису якого вона будується;

Y' – інформація про стан об'єкта (зворотний зв'язок);

$Y'_{кор}$ – коригування моделі (додавання нових факторів і зв'язків між ними);

Y_a – адекватна модель об'єкта моніторингу, що відповідає його реальному стану;

$\varepsilon_{\text{навч}}$ – оновлення бази знань.

Під управляємою підсистемою (O) розглядаються об'єкти управління (на які спрямовані управлінські впливи). Під моделлю об'єкта розуміється розробка і дослідження нечіткої когнітивної моделі оцінки стану об'єкту з використанням методології нечіткого когнітивного моделювання стану об'єкту.

Управляюча підсистема виробляє управляючий вплив U на основі мети управління, а також інформації, що надійшла з зовнішнього середовища W .

Управляема підсистема отримує інформацію (Q, I, U), яка формує завдання по аналізу та прогнозуванню стану об'єкту.

На основі W, Q, I розробляються і досліджуються нечіткі когнітивні моделі з використанням методології нечіткого когнітивного моделювання процесу аналізу об'єктів, що дозволяють досліджувати і аналізувати можливі сценарії розвитку об'єктів. Під сценаріями розвитку системи розуміються сценарії розвитку ситуацій, пов'язані з характером дій об'єкту моніторингу.

Якщо отримані результати (розрахункові значення) Y_m не відповідають фактичними результатами, які характеризують стан Y_{ou} (умова $\varepsilon \leq \varepsilon_{\text{доп}}$ не виконується), то управляюча підсистема вносить коригування НКМ ($Y_{\text{кор}}$). Якщо умова $\varepsilon \leq \varepsilon_{\text{доп}}$ виконується, то НКМ є адекватної Y_a . В результаті отримання адекватної НКМ можна передбачати поведінку об'єкта.

Для перевірки адекватності моделі пропонується “історичний метод”, який полягає в тому, що побудовані НКМ застосовуються до подібних ситуацій, якщо подібні ситуації відбувалися в минулому і динаміка їх відома. В цьому випадку НКМ виявляється працездатною (отримані результати збігаються з реальним ходом подій), вона визнається правильною.

Управління здійснюється з застосуванням зворотного зв'язку Y' . Управляюча підсистема отримує інформацію від управляємої підсистеми Y' , а також від зовнішнього середовища W . Управляюча підсистема обробляє і зіставляє її з бажаними характеристиками об'єкта управління, а потім приймає

нове рішення, виробляє наступне керуючий вплив U на її основі. Керована підсистема також сприймає інформацію Y , обробляє і зіставляє її з бажаними характеристиками об'єкта управління і на її підставі виправляє помилку H^* .

Систему управління процесом аналізу та прогнозування стану об'єктів можна представити у вигляді кортежу

$$S_{\text{упр}} = \langle S, O, Y, Z, W, Q, Y_a, D \rangle, \quad (25)$$

де Z – мета управління;

$D = \langle I, H, U, Y_{\text{ОУ}}, Y_M, Y', H^*, Y'_{\text{кор}} \rangle$ – внутрішнє середовище системи управління $S_{\text{упр}}$; $Y = \langle W, H, H^*, Y_M \rangle$ – модель об'єкта, результатом Y_M якого є НКМ.

Запишемо вираз (25) для динамічної системи:

$$\forall t \in \{1, \dots, T, \dots\} S_t = \begin{cases} s_1^{(t)} F_1 \left(\varphi_{1,1} \left(s_1^{(t-1)}, \dots, s_1^{(t-L_1^1)} \right), \varphi_{1,N} \left(s_N^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_1^N)} \right) \right) \times I_1, \\ s_2^{(t)} F_2 \left(\varphi_{2,1} \left(s_1^{(t-1)}, \dots, s_1^{(t-L_2^1)} \right), \varphi_{2,N} \left(s_N^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_2^N)} \right) \right) \times I_2, \\ \dots \\ s_N^{(t)} F_N \left(\varphi_{N,1} \left(s_1^{(t-1)}, \dots, s_1^{(t-L_N^1)} \right), \varphi_{N,N} \left(s_N^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N^N)} \right) \right) \times I_N, \end{cases} \quad (26)$$

де S – багатовимірний часовий ряд; $S_t = (s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_N^{(t)})$ – часовий зріз стану об'єкту аналізу 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 компоненту відносно j -го; φ_{ij} – оператор для врахування взаємовпливу між i -им та j -им компонентом багатовимірного часового ряду; F_i – перетворення для отримання $s_i^{(t)}$, $i=1, \dots, N$; N – число компонентів багатовимірного часового ряду; ι – оператор для врахування ступеню інформованості про стан об'єкту.

З виразу (26) можна зробити висновок, що вираз дозволяє описати процеси в об'єкті аналізу з урахуванням запізнь у часі. Затримки необхідні на збір, обробку та узагальнення інформації, а також враховує ступеню інформованості про стан об'єкту. Також зазначений вираз (26) дозволяє описати процеси, що мають як кількісні так і якісні одиниці виміру, а також процеси що протікають на рис. 1.

Метод оцінки та прогнозування в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень складається з наступної послідовності дій (рис. 2):

1. *Введення вихідних даних.* На даному етапі вводяться вихідні дані що наявні про об'єкт, що підлягає аналізу. Проводиться ініціалізація базової моделі стану об'єкту.

2. *Виявлення факторів та зв'язків між ними.*

У відомих роботах, наприклад [211, 216, 221] не розглядається етап обробки вихідних даних і початкова невизначеність типу інформації, що підлягає моделюванню. Автори для спрощення процесу моделювання, обмежуються тим, що значення факторів представлені безрозмірними величинами, що представлені значення в інтервалі $[0, 1]$ і значення зв'язків між ними, що перебувають в інтервалі $[-1, 1]$. Для рішення даної проблеми пропонується процедура обробки невизначених вихідних даних під час виявлення факторів та зв'язків між ними.

Дія 2.1. Введення вихідних даних (значень параметрів вершин НКМ, значення зв'язків між ними та апріорний тип невизначеності вихідних даних). Апріорні типи невизначеності вихідних даних можуть бути наступні – повна невизначеність, часткова невизначеність та повна інформованість. Значення параметрів вершин $x_{v_i}, i = \overline{1, h}$ (h – кількість факторів) можуть бути представлені в вигляді:

1) чисел, які відрізняються одиницями виміру та порядком величин, а також вербальних описів;

2) інтервалів, нечітких трикутних чисел, нечітких трапецієподібних чисел та багатограноподібних чисел).

Початкові значення параметрів вершин одночасно представляються в кожному з перерахованих видів, а початкові значення зв'язків між ними – одночасно тільки в одному з наведених видів.

Дія 2.2. Розглядається умова:

якщо значення параметрів вершин представлені інтервалами, нечіткими числами, тобто в вигляді інтервалів, нечітких трикутних чисел; нечітких трапецієподібних (багатограноподібних) чисел виконується, то переходимо до

дії 2.3. Якщо умова не виконується, то переходимо до дії 2.4.

Дія 2.3. Нормування значень параметрів вершин, представлених у вигляді інтервалів та нечітких чисел.

У результаті нормування значення параметрів вершин являють собою інтервали з нормованими значеннями параметрів вершин. Для того щоб одержати одне нормоване нечітке значення з інтервалу, рекомендується наступне:

- для нормованих інтервалів, нечітких трапецієподібних, нечітких багатограноподібних чисел обрати середнє арифметичне;

- для нормованих нечітких трикутних чисел обрати очікуване значення нормування.

Дія 2.4. Розглядається умова:

- якщо умова, що значення параметрів вершин представлені в вигляді вербальних описів, дотримується, то переходимо до дії 2.5;

- якщо умова не дотримується, то переходимо до дії 2.6.

Дія 2.5. Структуризація значень параметрів вершин. Після виконання зазначеної дії здійснюється перехід до дії 2.8.

Для параметрів вершин, значення яких представлені в вигляді вербальних описів, пропонується здійснювати структуризацію, де кожному вербальному опису параметра вершини ставиться в відповідність одне число з інтервалу [0, 1]. Для оцінки значення параметрів вершин введений вербальний опис “Рівень фактора” (табл. 4).

Таблиця 4

Оцінка значення параметра вершини для вербальної змінної “Рівень фактора”

Вербальний опис	Чисельне значення
Низький	[0,1; 0,3]
Нижче середнього	[0,31; 0,5]
Середній	[0,51; 0,7]
Вище за середнє	[0,71; 0,9]
Високий	[0,91; 1]

Нормування та структуризація значень параметрів вершин необхідна для

того, щоб чисельні значення параметрів вершин не відрізнялися одиницями виміру, порядком величин і належали інтервалу $[0, 1]$.

Дія 2.6. Розглядається умова:

- при умові, що значення параметрів вершин представлені в вигляді чисел (не відрізняються одиницями виміру та порядком величин), виконується, то переходимо до дії 2.8;

- якщо умова не дотримується, тобто значення параметрів вершин відрізняються одиницями виміру та порядком величин, то переходимо до дії 2.7.

Дія 2.7. Нормування значень параметрів вершин, представлених у вигляді чисел.

$$x_{v_i}^{\text{норм}} = \frac{x_{v_i \text{ пот}} - x_{v_i \text{ min}}}{x_{v_i \text{ max}} - x_{v_i \text{ min}}}, x_{v_i}^{\text{норм}} \in [0,1], \quad (27)$$

де $x_{v_i \text{ пот}}$ поточне значення параметра вершини; $x_{v_i \text{ max}}, x_{v_i \text{ min}}$ – мінімальне та максимальне значення параметра вершини $v_i \in V, i = \overline{1, h}$.

Формула (3) для нормування значень параметрів вершин, які представлені в вигляді інтервалів, нечітких трикутних та нечітких трапецієподібних (багатограноподібних) чисел не підходить. Тому що інтервальні значення параметрів вершин x_{v_i} не повинні перетинатися, оскільки тільки в цьому випадку встановлюються відношення “більше” (максимум) або “менше” (мінімум). Для того щоб інтервали $a=(a_1, a_2)$ і $b=(b_1, b_2)$ були порівнянні в відношенні $a \geq b$, необхідне та достатнє виконання умови $a_1 \geq b_1, a_2 > b_2$.

Дія 2.8. Нормування значень зв'язків між вершинами, представлених у вигляді інтервалів, нечітких чисел.

Оцінка характеру та сили зв'язків між вершинами, представленими у вигляді інтервалів, нечітких трикутних та трапецієподібних (багатограноподібних) чисел по п'ятибальній шкалі, наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Оцінка характеру та сили зв'язків між вершинами, представленими в вигляді інтервалів

Чисельне значення	Вербальний опис
Для інтервалів	
0	Відсутня
[0,1, 1] [-0,1, -1]	Дуже слабо підсилює Дуже слабо ослаблює
[1,1, 2] [-1,1, -2]	Слабо підсилює Слабо ослаблює
[2,1, 3] [-2,1, -3]	Помірно підсилює Помірно ослаблює
[3,1, 4] [-3,1, -4]	Сильно підсилює Сильно ослаблює
[4,1, 5] [-4,1, -5]	Дуже сильно підсилює Дуже сильно ослаблює
Для нечітких трикутних чисел	
0	Відсутня
[0,1, 0,5, 1] [-0,1, -0,5, -1]	Дуже слабо підсилює Дуже слабо ослаблює
[1,1, 1,5, 2] [-1,1, -1,5, -2]	Слабо підсилює Слабо ослаблює
[2,1, 2,5, 3] [-2,1, -2,5, -3]	Помірно підсилює Помірно ослаблює
[3,1, 3,5, 4] [-3,1, -3,5, -4]	Сильно підсилює Сильно ослаблює
[4,1, 4,5, 5] [-4,1, -4,5, -5]	Дуже сильно підсилює Дуже сильно ослаблює
Для нечітких трапецієподібних чисел	
0	Відсутня
[0,1, 0,3, 0,6, 1] [-0,1, -0,3, -0,6, -1]	Дуже слабо підсилює Дуже слабо ослаблює
[1,1, 1,3, 1,6, 2] [-1,1, -1,3, -1,6, -2]	Слабо підсилює Слабо ослаблює
[2,1, 2,3, 2,6, 3] [-2,1, -2,3, -2,6, -3]	Помірно підсилює Помірно ослаблює
[3,1, 3,3, 3,6, 4] [-3,1, -3,3, -3,6, -4]	Сильно підсилює Сильно ослаблює
[4,1, 4,3, 4,6, 5] [-4,1, -4,3, -4,6, -5]	Дуже сильно підсилює Дуже сильно ослаблює

Для нечітких багатограноподібних чисел	
0	Відсутня
$[0,1, w_{ij}/N, 1]$ $[-0,1, w_{ij}/N, -1]$	Дуже слабо підсилює Дуже слабо ослаблює
$[1,1, w_{ij}/N, 2]$ $[-1,1, -w_{ij}/N, -2]$	Слабо підсилює Слабо ослаблює
$[2,1, w_{ij}/N, 3]$ $[-2,1, w_{ij}/N, -3]$	Помірно підсилює Помірно ослаблює
$[3,1, w_{ij}/N, 4]$ $[-3,1, w_{ij}/N, -4]$	Сильно підсилює Сильно ослаблює
$[4,1, w_{ij}/N, 5]$ $[-4,1, w_{ij}/N, -5]$	Дуже сильно підсилює Дуже сильно ослаблює

У результаті нормування, значення зв'язків між вершинами представляють собою інтервали з нормованими значеннями зв'язків. Для того щоб одержати одне нормоване нечітке значення з інтервалу, рекомендується наступне:

1) для нормованих інтервалів $w_{ij}^{\text{норм}} = [w_{ij1}^{\text{норм}}, w_{ij2}^{\text{норм}}]$, нечітких трапецієподібних $w_{ij}^{\text{норм}} = [w_{ij1}^{\text{норм}}, w_{ij2}^{\text{норм}}, w_{ij3}^{\text{норм}}, w_{ij4}^{\text{норм}}]$ та нечітких багатограноподібних $w_{ij}^{\text{норм}} = [w_{ij1}^{\text{норм}}, \dots, w_{ijN}^{\text{норм}}]$ чисел обрати середнє арифметичне $w_{ij}^{*\text{норм}} = \frac{w_{ij}^{\text{норм}}}{N}$.

2) для нормованих нечітких трикутних чисел $w_{ij}^{\text{норм}} = [w_{ij1}^{\text{норм}}, w_{ij2}^{\text{норм}}, w_{ij3}^{\text{норм}}]$ вибрати очікуване нормоване значення $w_{ij1}^{*\text{норм}} = w_{ij2}^{\text{норм}}$, де $w_{ij}^{\text{норм}}$ – нормовані інтервальні значення зв'язків між вершинами v_i та v_j $w_{ij}^{\text{норм}} \in [-1, 1]$; $w^{*\text{max}}$.

Дія 2.9 Структуризація значень зв'язків між вершинами.

Для встановлення причинно-наслідкових зв'язків визначена шкала для оцінки характеру зв'язків і сили зв'язків між вершинами (табл. 5).

Структуризація полягає в наступному: кожному значенню зв'язків, представленою у вигляді вербального опису, ставиться в відповідність одне число з інтервалу $[-1, 1]$.

Таблиця 5

Оцінка характеру та сили зв'язків між вершинами, представленими в вигляді вербальних описів

Вербальний опис	Чисельне значення
Відсутня	0
Дуже слабо підсилює	[0,1, 0,3]
Дуже слабко ослаблює	[-0,1,-0,3]
Слабо підсилює	[0,31, 0,5]
Слабо ослаблює	[-0,31, -0,5]
Помірно підсилює	[0,51, 0,7]
Помірно ослаблює	[-0,51, -0,7]
Сильно підсилює	[0,91, 1]
Сильно ослаблює	[-0,91, -1]

Нормування та структуризація значень зв'язків між вершинами необхідна для того, щоб усі значення зв'язків належали інтервалу $[-1,1]$.

4. Побудова НКМ.

Формування структури (попереднє структурне налаштування).

НКМ полягає в завданні структурних взаємозв'язків (у вигляді відображаються часових лагів) між концептами НКМ, зважених нечіткими значеннями $w_{ij}^{(t-l_i)}$ їх впливу один на одного. В зазначеній роботі в якості НКМ FS_i , що реалізують нечіткі темпоральні перетворення F_i , пропонуються модифіковані моделі ANFIS-типу (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). НКМ забезпечують формування, зберігання і виведення прогнозованих нечітких значень відповідних компонентів багатовимірного часового ряду з необхідними для НКМ часовими затримками.

Вхідні темпоральні нечіткі змінні моделі FS_i концепту C_i пов'язані з вихідними темпоральними нечіткими змінними тих концептів, які надають на концепт C_i безпосередній вплив. При цьому вхідні темпоральні нечіткі змінні C_i попередньо “зважуються” відповідними нечіткими ступенями впливу $w_{ij}^{(t-l_i)}$, на підставі чого здійснюється наступне перетворення:

$$\tilde{s}_j^{(t-l_i)} = \left(w_{ij}^{(t-l_i)} \text{T} \tilde{s}_j^{(t-l_i)} \right), l_i^j = 0, \dots, L_i^j, \quad (28)$$

де T – операція T-норми.

Вихідні ж темпоральні нечіткі змінні моделі FS_i концепту C_i призначені для формування, зберігання і виведення прогнозованих значень i -го компонента багатовимірного часового ряду, відповідних часовим лагам. Для побудови нечітких компонентних темпоральних моделей FS_i можуть бути використані як апріорні відомості про компоненти багатовимірного часового ряду, що є в базі знань, так і дані, отримані в результаті оцінювання або вимірювань.

У першому випадку мається на увазі, що завдання забезпечення повноти і несуперечливості бази нечітких правил моделі FS_i вирішена заздалегідь.

Якщо ж відомі тільки експериментальні дані, то стоїть завдання ідентифікації моделі. На практиці, найчастіше має місце змішаний випадок, коли початкова база правил моделі будується, виходячи з евристичних припущень, а її параметричне настроювання (навчання) виконується на основі навчальної вибірки.

Вхідними темпоральними нечіткими змінними моделі FS_i є $S'_1 = \{\tilde{s}_3^{(t-1)}, \tilde{s}_3^{(t-3)}, \tilde{s}_4^{(t-3)}, \tilde{s}_5^{(t-3)}, \tilde{s}_1^{(t-3)}\}$ а її вихідними нечіткими темпоральними нечіткими змінними – $S'_1 = \{\tilde{s}_1^{(t)}, \tilde{s}_1^{(t-1)}, \tilde{s}_1^{(t-2)}\}$.

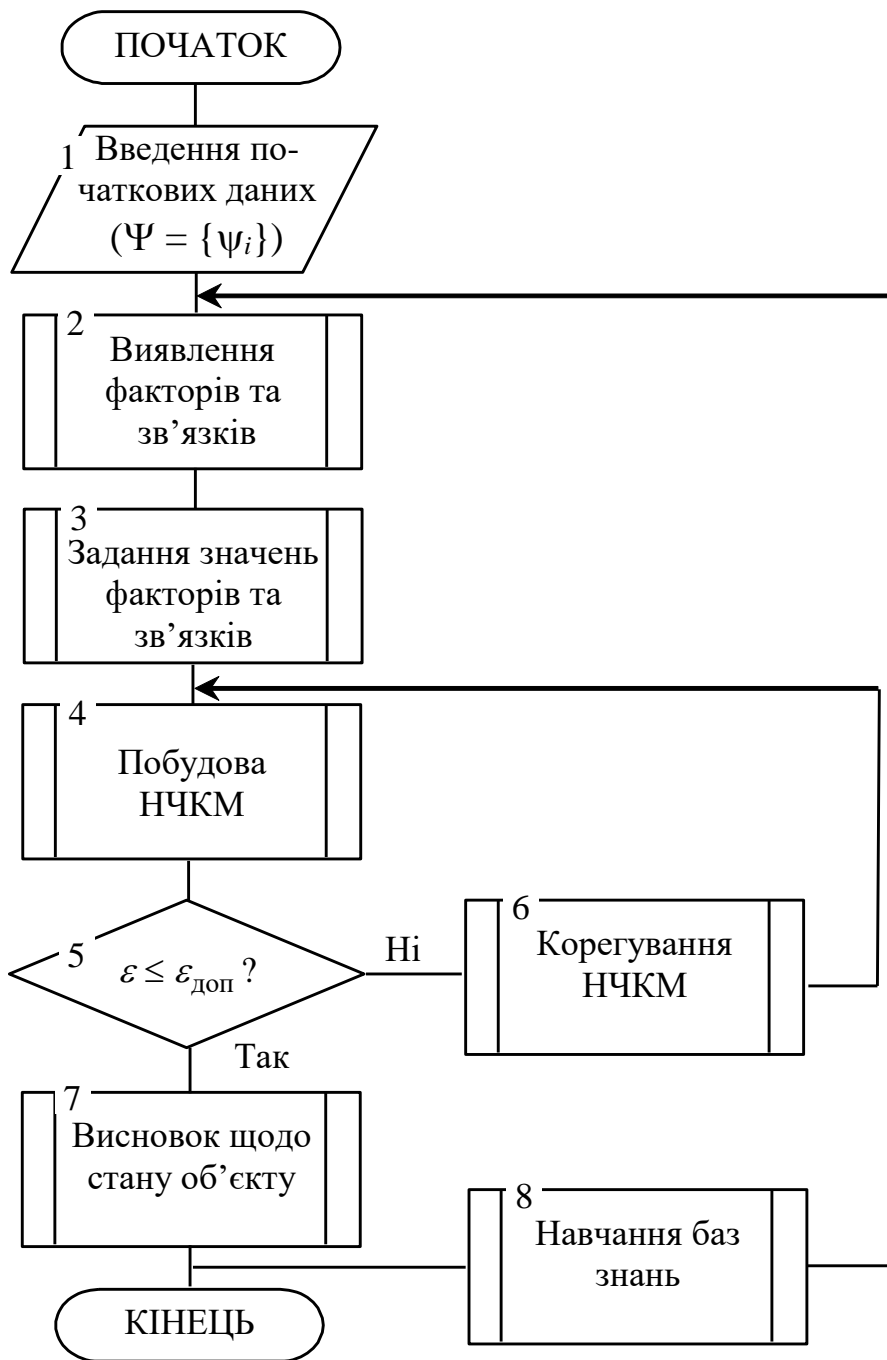


Рис. 2. Алгоритм реалізації методу аналізу та прогнозування стану об'єкту

При побудові моделі спочатку визначаються міри істинності для поточних значень вхідних змінних щодо відповідності цих нечітких висловлювань передумов всіх правил моделі. Після чого відбувається агрегування на основі операції Т-норми ступенів істинності передумов правил

$$\alpha_p = \min \mu_{\tilde{L}}(\tilde{s}_1^{(t-1)}), \mu_{\tilde{L}}(\tilde{s}_3^{(t-3)}), \mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_4^{(t-3)}), \mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_5^{(t-3)}), \mu_{\tilde{H}}(\tilde{s}_1^{(t-3)}). \quad (29)$$

Далі активізують укладення відповідних правил відповідно до ступенями істинності їх передумов на основі операції імплікації (тут, імплікації Мамдані - операції min-активації)

$$\mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_1^{(t)}) = \min(\alpha_p, \tilde{M}). \quad (30)$$

Після чого здійснюється операція max-диз'юнкції, акумулюючи активізовані укладення всіх правил моделі:

$$\tilde{s}_1^{(t)} = \max(\mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_1^{(t)}), \dots, \mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_1^{(t)}), \dots, \mu_{\tilde{H}}(\tilde{s}_1^{(t)})). \quad (31)$$

Далі відбувається нормалізація, зберігання і виведення нечітких значень вихідних змінних моделі з необхідними для НКМ часовими затримками

$$\tilde{s}_{1(norm)}^{(t)} = Z^0(\tilde{s}_1^{(t-1)}), \tilde{s}_{1(norm)}^{(t-2)} = Z^{-1}(\tilde{s}_1^{(t-1)}). \quad (32)$$

5. Навчання штучних нейронних мереж(ШНМ).

В зазначеній процедурі відбувається навчання ШНМ за допомогою розробленого авторами в роботі [210] методу навчання ШНМ, що еволюціонують. Зазначений метод відрізняється від відомих тим, що дозволяє проводити навчання не тільки синаптичних ваг, але й параметрів функції належності разом з архітектурою ШНМ. Також на даному етапі відбувається узгодження всіх нечітких компонентних темпоральних моделей НКМ. Узгодження всіх нечітких компонентних темпоральних моделей $FS_i, i=1, \dots, N$ НКМ здійснюється після їх “персоніфікованої” параметричного налаштування. Узгодження полягає в такій зміні модальних значень і ступенів розмитості нечітких ступенів впливу $\left\{w_{ij}^{(t-i)} \middle| L_i^j = 0, \dots, L_i^j\right\}$ між концептами НКМ, що забезпечує максимальне підвищення точності прогнозування кожного з компонентами багатовимірного часового ряду без погіршення. Процедурі узгодження нечітких компонентних темпоральних моделей НКМ передують формування додаткової “узгоджуючою” навчальної вибірки, що складається з ретроспективних даних одночасно для всіх компонентів багатовимірного часового ряду. Процедура узгодження всіх нечітких компонентних темпоральних моделей НКМ вважається успішно завершеною, якщо для кожної з цих моделей підсумкова

похибка не перевищує деякого встановленого порога. Для добре узгоджених компонентів багатовимірного часового ряду, або для цих моделей буде виконуватися принцип Еджворта-Парето.

б. Прогнозування стану об'єкту аналізу.

Багатовимірний аналіз і прогнозування стану складної системи/процесу виконується на основі структурно і параметрично налаштованої НКМ і може здійснюватися в наступних режимах:

– по-перше, безпосереднє багатовимірне прогнозування стану складної системи/процесу для t -го моменту часу, тобто розрахунок значень вихідних змінних моделей $FS_i, i=1, \dots, N$ по заданим кожен раз відповідним сукупностями значень вхідних змінних цих моделей;

– по-друге, саморозвиток і прогнозна оцінка зміни стану складної системи/процесу, при якому моделювання динаміки зміни стану проводиться з деякої ситуації, заданої початковими значеннями всіх концептів НКМ, при відсутності зовнішніх впливів на неї;

– по-третє, розвиток і прогнозна оцінка зміни стану складної системи/процесу, при якому моделювання динаміки зміни стану проводиться в деякій ситуації. Ситуація задана початковими знаннями всіх концептів НКМ, при зовнішньому впливі на значення концептів і/або на відносини впливу між концептами НКМ.

Запропонований метод оцінки та прогнозування в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Для оцінки ефективності розробленого методу оцінювання та прогнозування виконано її порівняльну оцінку з найбільш популярними програмними продуктами:

- ARIS Business Performance Edition (IDS Scheer AG, Німеччина);
- IBM WebSphere Business Modeler (IBM, США);
- System21 Aurora (Campbell Lee Computer Services Limited, Великобританія);
- SAP Strategic Enterprise Management (SAP, Німеччина);
- Hyperion Performance Scorecard (Oracle, США);

– CA ERWin Process Modeler (CA, США).

Проведено моделювання роботи методу обробки пошуку рішень відповідно до алгоритму на рис. 2 та виразів (25)–(32). Проведено моделювання роботи запропонованого методу оцінки та прогнозування в програмному середовищі MathCad 14 (США). В якості задачі, що вирішувалася при проведенні моделювання була оцінка елементів оперативної обстановки угруповання військ (сил) (табл. 6).

Таблиця 6

Матриця інцидентності когнітивної карти оцінювання обстановки

№	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	w_{11}	w_{12}
w_1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
w_2	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0
w_3	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	1	0	-1
w_4	0	0	1	0	0	1	-1	0	0	1	1	0
w_5	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
w_6	0	1	0	0	-1	0	1	1	-1	1	1	0
w_7	1	-1	1	0	0	-1	0	1	0	1	0	0
w_8	0	-1	1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0
w_9	1	0	1	1	-1	1	1	0	0	1	1	0
w_{10}	1	-1	0	1	0	1	0	-1	0	0	0	0
w_{11}	1	1	1	-1	0	1	0	0	0	1	1	1
w_{12}	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0

Результати оцінки оперативної обстановки угруповання за вихідними даними наведені в табл. 7, в якій представлені нормовані результати оцінки.

Таблиця 7

Порівняння обчислювальної складності програмного забезпечення та розробленого методу для оцінювання оперативної обстановки

№ п/п	Назва програмного засобу	Кількість обчислень	Розроблений метод (за кількістю обчислень)
1	ARIS Business Performance Edition (IDS Scheer AG)	67000	58960
2	IBM WebSphere Business Modeler (IBM)	64500	58760
3	System21 Aurora (Campbell Lee Computer Services Limited)	57000	48450

Продовження таблиці 7

4	SAP Strategic Enterprise Management (SAP)	39830	35847
5	Hyperion Performance Scorecard (Oracle)	46200	40194
6	CA ERWin Process Modeler (CA)	43050	37023

З аналізу даних, що представлені в табл. 7, видно, що представлений метод має меншу кількість обчислень у порівнянні з відомими підходами з оцінки та прогнозування. Перевага зазначеного методу в порівнянні з відомими полягає в зменшенні обчислювальної складності, що в свою чергу підвищує оперативність прийняття рішень відносно стану оперативної обстановки угруповання військ (сил).

У табл. 8, 9 представлені порівняльні результати оцінки оперативності навчання штучних нейронних мереж, що еволюціонують.

Таблиця 8

Порівняльні результати оцінки оперативності навчання штучних нейронних мереж, що еволюціонують

Система	Параметри алгоритму	ХВ (Індекс Ксі-Бені)	Час, сек
FCM (Fuzzy C-Means)	–	0.1903	2.69
EFCM	Dthr=0.24	0.1136	0.14
EFCM	Dthr=0.19	0.1548	0.19
Запропонована система (пакетний режим)	delta=0.1	0.0978	0.37
Запропонована система (online режим)	delta=0.1	0.1127	0.25

Перед навчанням ознаки спостережень були нормалізовані на інтервалі [208, 209].

Таблиця 9

Порівняльні результати кластеризації

Система	Параметри алгоритму	ХВ (Індекс Ксі-Бені)	Час, сек
FCM (Fuzzy C-Means)	Dthr=0.6	0.2963	0.81
EFCM	Dthr=0.6	0.2330	0.54
Запропонована система (пакетний режим)	delta=0.4	0.2078	0.45
Запропонована система (online режим)	delta=0.4	0.2200	0.30

Варто відзначити, що запропонована процедура навчання показала кращий за критерієм РС (partition coefficient, РС – коефіцієнт розбиття) результат в порівнянні з EFCM і кращий за часом роботи результат в порівнянні з FCM. Дослідження показало, що зазначена процедура навчання забезпечує в середньому на 10–18 % більшу високу ефективність навчання штучних нейронних мереж та не накопичує помилок в ході навчання (табл. 8, 9).

Зазначені результати видно з результатів в останніх строках табл. 8, 9, як різниця індексу Ксі-Бені. Разом з тим, як вже було зазначено, в ході роботи відомі методи накопичують помилки, саме тому в запропонованій методиці запропоновано використання штучних нейронних мереж, що еволюціонують.

Висновки

1. Визначено алгоритм реалізації методу управління потоками інформації в ІСППР з використанням популяційного алгоритму, завдяки додатковим та удосконаленим процедурам що дозволяє:

– початкова популяція АБВ та їх вихідне положення на площині пошуку визначається з врахуванням ступеню невизначеності вихідних даних про потоки інформації в ІСППР;

– враховується початкова швидкість кожного АБВ, чим досягається можливість визначати пріоритетність пошуку у відповідній площині пошуку;

– універсальність стратегій пошуку місць харчування АБВ, чим

дозволяється класифікувати сукупність умов та факторів, які впливають на процес управління потоками інформації в ІСППР;

– можливістю досліджувати простори рішення функцій, що описуються нетиповими функціями, за рахунок використання процедур вибору техніки ходи АБВ;

– проводити заміну непридатних для пошуку осіб за рахунок оновлення популяції АБВ;

– можливість одночасного пошуку рішення в різних напрямках;

– можливістю глибокого навчання баз знань АБВ;

– можливістю розрахунку необхідної кількості обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

2. Проведений приклад використання запропонованого методу показав підвищення оперативності прийняття рішень досягається на рівня 15–18 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

3. Визначено алгоритм реалізації методу оцінки оперативності обробки різнотипних даних в системах підтримки прийняття рішень, завдяки додатковим та удосконаленим процедурам що дозволяє:

– враховується тип невизначеності даних що циркулюють в системах підтримки прийняття рішень;

– реалізувати адаптивні стратегії пошуку площини пошуку рішень агентами популяції;

– врахувати наявні обчислювальні ресурси підсистеми обробки різнотипних даних систем підтримки прийняття рішень;

– здійснити зміну площі пошуку окремими агентами популяції;

– змінювати швидкість руху агентами популяції;

– врахувати пріоритетність пошуку агентами популяції;

– провести початкове виставлення особин популяції з урахуванням типу невизначеності;

- застосовувати як універсальний інструмент вирішення завдання аналізу оперативності обробки різнотипних даних систем підтримки прийняття рішень;
- перевірити адекватність отриманих результатів;
- уникнути проблеми локального екстремуму.

4. Проведене моделювання показало підвищення оперативності обробки даних на рівні 13–17 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур додавання корегувальних коефіцієнтів щодо невизначеності даних.

5. Запропонований метод оцінки та прогнозування в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

Новизна запропонованого методу полягає в наступному:

- використанням нового типу нечітких когнітивних темпоральних моделей, орієнтованих на багатовимірний аналіз і прогнозування стану об'єктів в умовах невизначеності;

- концепти НЧКМ, на відміну від відомих нечітких когнітивних моделей, пов'язані підмножинами нечітких ступенів впливу, упорядкованих в хронологічній послідовності з урахуванням часових лагів відповідних компонентів багатовимірного часового ряду;

- удосконаленою процедурою прогнозування стану об'єктів на основі нового типу НЧКМ, що забезпечує багатовимірний аналіз, врахування і опосередкований вплив компонентів багатовимірного часового ряду з їх різними часовими лагами один відносно одного. Також забезпечується прогнозна оцінку в умовах нестохастичної невизначеності, нелінійності взаємовпливу, часткової неузгодженості і суттєвою взаємозалежності компонентів багатовимірного часового ряду;

- удосконаленою процедурою навчання штучних нейронних мереж для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, дозволяє підвищити оперативність обробки інформації та зменшення похибки за рахунок:

- навчання не тільки синаптичних ваг штучної нейронної мережі, але й виду та параметрів функції належності;

- навчання архітектури штучних нейронних мереж;

- можливості комбінації елементів штучної нейронної мережі;
- можливості навчання окремих елементів штучної нейронної мережі;
- обчислення даних за одну епоху без необхідності зберігання попередніх обчислень;
- не накопичення помилки навчання штучних нейронних мереж в результаті обробки інформації, що надходить на вхід штучних нейронних мереж.

Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі прогнозування часового ряду об'єкту розвідки. Зазначений приклад показав підвищення ефективності функціонування штучних нейронних мереж на рівні 15–25 % по оперативності обробки інформації за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

8.4 Комп'ютерна система розпізнавання обличь

Напрямок та види розпізнавання обличь

Останніми роками штучний інтелект (ШІ) став ключовим фактором технологічного прогресу. Різні країни з легкістю понурились в новітні технології. Розуміючи що ШІ має глибокий вплив на різні сфери людського життя, уряд Китаю доручив Китайській асоціації штучного інтелекту (СААІ) розробити етичні принципи для штучного інтелекту. У Китаї запроваджено обов'язкове цифрове маркування текстів, фотографій та голосів, створених штучним інтелектом, однак акцент також робиться на конфіденційності. Розроблено документ, який набув чинності 10 січня 2023 року, встановлює вимоги до надання послуг глибокого синтезу для створення зображень, відео, аудіо, тексту та ін. Створений контент повинен відповідати правилам контролю інформації, маркуватися як штучно створений, а його розповсюджувачі зобов'язані вживати заходів щодо запобігання неправомірному використанню та реєстрації своїх алгоритмів (забороняється публікувати контент, створений штучним інтелектом, без спеціального маркування). Японія впроваджує розпізнавання обличь у виробництво автомобілів, де воно використовується для виявлення ознак втоми водія та запобігання аваріям, на робочих місцях для контролю стану працівників та підвищення їхньої продуктивності [295].

29 країн, включаючи Китай, членів ЄС та США, підписали договір про зниження ризиків ШІ. Очікується битва за контроль над технологією та прийняття нових стандартів штучного інтелекту.

Розробка і впровадження технології розпізнавання обличь в Україні набирає обертів, багато підприємств впроваджують технологію в системи відеоспостереження, безпеки [295].

Галузі, в яких зосереджені найбільші можливості для впровадження систем розпізнавання обличь:

- Роздрібна торгівля (рітейл) вже тестує технологію розпізнавання.
- Складські приміщення.

– Супермаркети, торгові центри, вокзали, концертні зали, площі.

У банківській сфері розпізнавання обличь використовується для:

– Аналізу клієнтів - віку, статі.

– Кількості унікальних відвідувачів.

– Кількості і частоти повторних відвідувань.

– Виявлення шахраїв і зменшення крадіжок.

– Контроль дій персоналу.

– В системах контролю доступу, для організації фізичного доступу до найбільш охоронюваних приміщень.

– Для ідентифікації, верифікації, автентифікації як фізичних, так і програмних додатків [296].

– При розгляді кредитних заявок.

– Правоохоронних органів.

Найбільша мережа супермаркетів в світі Walmart's Use of Sci-fi Tech To Spot . Shoplifters Raises Privacy Questions вже використовує не тільки систему маркування товарів, а і систему розпізнавання обличь для боротьби з крадіжками.)

Відео архів системи відеоспостереження зберігає і дозволяє при необхідності миттєво знайти інформацію про дату, час, напрямок руху об'єкту який цікавить людину, відеокадри із зображенням його обличчя. Між камерне стеження може відстежувати подальший маршрут об'єкту після моменту виявлення [301].

Велика кількість об'єктів в кадрі.

Покриття мережі камер відеоспостереження в більшості великих приміщень дуже багато. Саме цей аспект внесе своє коригування в роботу системи розпізнавання об'єктів.

Від завдань безпеки ми переходимо до маркетингових завдань. Коли говорять про інтеграцію індустрії «Системи безпеки» у велику ІТ-індустрію, мають на увазі саме це – за допомогою обладнання, яке раніше вважалося здатним вирішувати тільки проблеми безпеки.

Класична задача підрахунку кількості об'єктів завжди вирішувалася інфрачервоними або лазерними датчиками, які просто показують кількість перетинів віртуальної лінії. Існують сучасні комплекси відео аналітики, зазвичай в поєднанні з додатковими датчиками. Вони вже вміють розпізнавати та рахувати конкретні об'єкти.

Інтелектуальний модуль аналізу об'єктів.

Функціональність:

- Підрахунок унікальних об'єктів.
- Розпізнавання обличчя і підрахунок кількості людей.
- Ідентифікація з комп'ютерною технікою.
- Визначення, що саме перетинає межу приміщення - атрибутів: СБ, монітор, ноутбук, тощо.
- Вартість на обробку 1 відео каналу.
- Авторизація – сканування комп'ютерної техніки на вході/виході.
- Платіжні системи.
- Системи управління підприємством.

Якість системи розпізнавання обличчя буде залежати від того, наскільки вдало були створені умови для розпізнавання. Кількість людей, одночасно входять в кадр, не більше 3 (хоча багато розробників стверджують на порядок більше одночасно аналізованих осіб, до цього слід ставитися з обережністю і перевіряти на практиці). Зона шляху повинна бути досить вузькою, щоб забезпечити прямий шлях об'єкту: люди не зупиняються, не товпляться, не накопичуються. Меблі, техніка не перекривають обличчя-камери встановлені без «сліпих зон». Постійний рівень і хороша рівномірність освітлення, яскравість не менше 200 люкс. Законодавче регулювання. Нерівномірне освітлення (день, ніч, сяєє сонце, все це різні умови, які сильно вплинуть на відсоток розпізнавання [297].

Оцінювання точності прогнозів

Як правило, після навчання нейромережі здійснюють контрольне відтворення даних, які склали навчальну множину. Якщо точність відтворення

задовільна і відхилення знаходяться в допустимих межах, вважають, що побудовано задовільну модель і слід очікувати достатню якість відображення. Якщо при відтворенні мережею даних навчальної множини спостерігаються великі розбіжності, можна припустити що це викликано: наявністю неточних даних з великою випадковою складовою. Для усунення цього явища підвищують вимоги до точності вимірювань

Неврахуванням суттєвих ознак, які в значній мірі визначають закономірність; ця проблема може бути вирішена розширенням набору ознак, які приймаються до уваги.

Після отримання передбачених значень при наявності правильних можливо отримати абсолютні та відносні відхилення на всій контрольній множині, для кожного кроку прогнозування. При наявності задовільних результатів прогнозування на контрольній множині, можна вважати, що налаштована мережа для даної задачі має оптимальну складність і готова до відтворення даних, для яких немає відповідних відомих відгуків [300].

Система розпізнавання.

З розвитком ІТ та штучного інтелекту рішення задач система розпізнавання - це доступна технологія, яку можуть собі дозволити для впровадження на фірмі багато приватних підприємств. Навіть зі штатом в кілька тисяч чоловік можна вести контроль за персоналом, переміщення офісного майна та контролювати матеріальні цінності.

Для зборки можна обрати готовий комплект системи контролю доступу і, за бажанням додати свої компоненти, такі, як сканер об'єктів чи камери відеонагляду з вбудованим розпізнаванням.

Систему розпізнавання можна зібрати з блоків власноруч рис. 1.

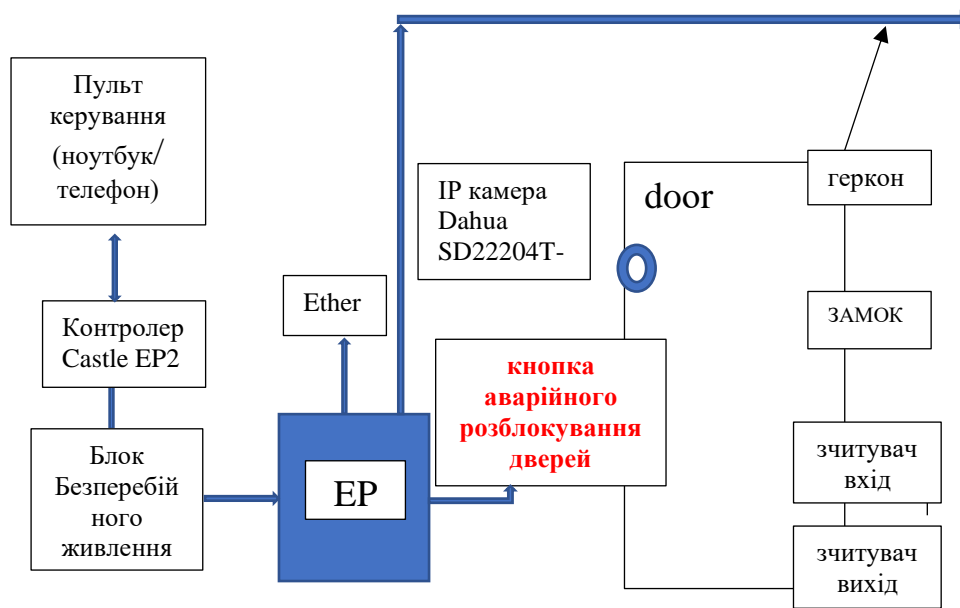


Рисунок 1. Структурна схема «Системи розпізнавання об'єктів з контролем доступу»

Для даної системи відеоспостереження був використаний мережевий відеореєстратор Dahua NVR4108-4KS2 серії Lite, який розрахований на 8 каналів для IP-відеокамер, з роздільною здатністю до 8Мп.

Всередину відеореєстратора був встановлений жорсткий диск спеціалізованої серії Seagate Sky Hawk, об'ємом 4ТВ, що при такому складі пристроїв дозволяє зберігати архіви відеозаписів, щонайменше за останні два тижні, при постійному записі і з наступним перезаписом.

Такий запас ресурсу відеоархіву обумовлений, в першу чергу, наявністю у відеореєстратора новітньої технології кодування відео H.265, яка стискає відео до мінімальних розмірів, без істотного збитку його якості.

Відеореєстратор підключений до монітору та інтернет-роутера. Решта обладнання, таке як PoE-комутатор Dahua PFS3009-8ET-96, джерело безперебійного живлення NADZOR 12-48В 8А та акумулятор 12В 20Ач, було встановлено в спеціальному комутаційному боксі рис.2

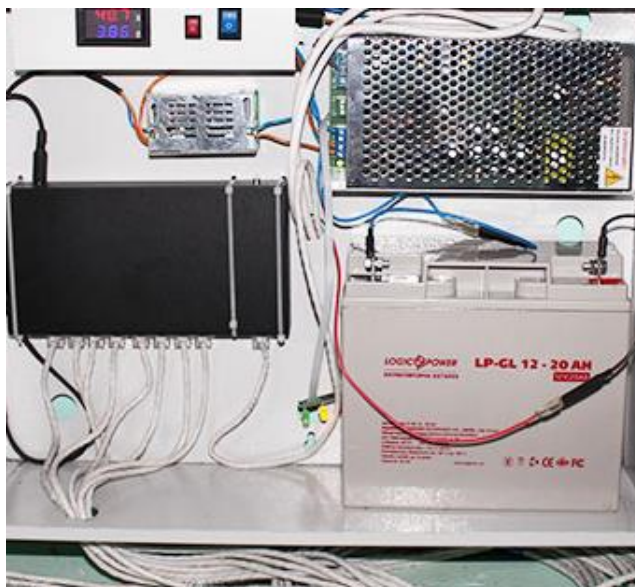


Рисунок 2. Монтаж обладнання PoE-комутатор Dahua PFS3009-8ET-96, джерело безперебійного живлення NADZOR 12-48В 8А та акумулятор 12В 20Ач)

Кабель віта пара КПВ-ВП (350) 4*2*0,51 (UTP-cat.5E) ОК-net медь- 305м

Кабель-канал 15x10-65 м

Монтажний комплект (дюбеля, стяжки тощо) 1шт

Всі камери (рисунок 3) підключаються кабелем кручена пара до спеціального PoE комутатора, який у свою чергу з'єднується з відео реєстратором через інтернет роутер. Все обладнання запитується через спеціалізоване джерело безперебійного живлення (ДБЖ).

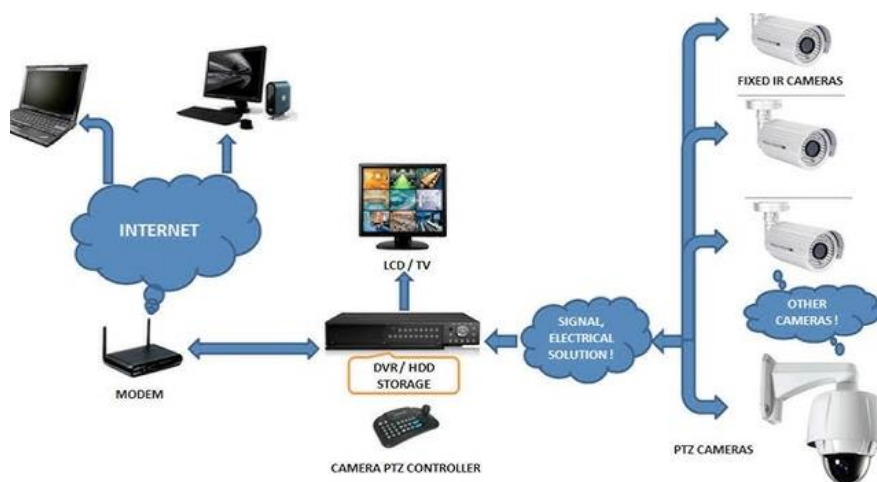


Рисунок 3. Схема підключення системи відеонагляду

Основні технічні характеристики розроблюваної системи зведено до таблиці 1

Таблиця 1. Обладнання з основними технічними характеристиками

Найменування	Основні технічні характеристики
IP камера Dahua IPC-HDW4231EMP-AS-3шт	Роздільна здатність FullHD 1980x1080p до 50 к/с., кут огляду по горизонталі - 110 град, світлочутливий сенсор 0.009 Люкс, нічне підсвічування до 50 метрів, підтримка найсучаснішого кодека H.265, WDR(120dB), 1 пара (технологія POE) [302].
IP камера Dahua SD22204T-GN -1 шт	Роздільна здатність FullHD 1980x1080p до 25 к/с., 4x оптичний зум, кут огляду можна змінювати в межах від 112° ~ 30° град., поворот по горизонталі 0°-360°; нахил по вертикалі 0°-90°, світлочутливий сенсор 0.05 люкс., передача живлення та даних по одному кабелю кручена пара (технологія PoE) [302].
Відеореєстратор Dahua NVR4108-4KS2 -1шт	Підключення до 8-ми камер роздільною здатністю до 8MPix.
Жорсткий диск HDD Seagate SkyHawk 4Tb – 1шт	Серія жорстких дисків «SkyHawk», спроектовані спеціально для систем цифрового та мережевого відеоспостереження – відеореєстраторів DVR та NVR різних виробників, з можливістю цілодобового запису відеопотоку з камер відеоспостереження. Диску обсягом 4Tb вистачає на 16 днів безперервного запису з 8 камер цієї системи.
POE комутатор Dahua PFS3009-8ET-961 шт	Комутатор для забезпечення живленням IP-камер з функцією Power over Ethernet.. Пристрій оснащений 8 портами PoE з максимальною пропускною потужністю до 30 Вт на кожен канал і одним портом для підключення до роутера, відеореєстратора або локальної мережі
Джерело безперебійного живлення NADZOR 12-48В 8А	Має два канали живлення: 48В для живлення PoE комутатора та 12В для живлення відеореєстратора та роутера. Оснащений акумулятором гелієвим ємністю 20Ач., який забезпечує безперервну систему, при відключенні основного живлення до 8 годин вдень і 4 годин вночі.
Кріплення для камер DAHUA PFB204W-8шт	Дозволяє монтувати камери на будь-яку вертикальну поверхню і є одночасно герметичним боксом для з'єднання RJ45, камера - кабель.
СКД- ZM-280LED	Комплект системи контролю доступу (рис. 5).

Місце розташування камери слід обирати виходячи з того, що об'єкт дивиться і рухається вперед в напрямку камери, вона повинна бути приблизно на одному рівні з обличчям людини.

У початковому положенні розпізнавання особи відрегулюйте камеру так, щоб знімок - овал обличчя дорослого мав не менше 160 пікселів.

Від початкового положення до фінального, камера повинна встигнути за 4 сек. зняти близько 20 кадрів обличчя.

Частота кадрів не менше 60 кадрів в секунду, чим вище частота кадрів в секунду, тим більша ймовірність, що ви отримаєте картинку з найкращою орієнтацією обличчя людини щодо камери, що безпосередньо вплине на якість розпізнавання обличчя.

Набагато ефективніше зробити розпізнавання на пристрої і передавати вже оброблені результати по мережі. Це дуже знизить навантаження на мережу і сервер.

Чим більше пікселів буде на обличчі людини, тим більш чітким буде зображення [297].

Для розпізнавання обличчя застосовують використання серверів з програмним забезпеченням або відеокамер з вбудованими для виявлення вузлових точок на обличчі і вимірювання відстаней між ними (рисунок 4). Це дозволяє зробити карту обличчя і отримати так званий відбиток обличчя [295, 298]. Залежно від технології, системі потрібно виявити близько 80 таких точок. Справжнім проривом стало усвідомлення того, що відбиток пальця, радужка ока і взагалі обличчя – це унікальний код, яким володіє кожна людина.

Припустимо, алгоритм був навчений на зображеннях людей, де переважала певна етнічна група. При застосуванні такого алгоритму до людей інших національностей його точність напевно знизиться. Надмірно оптимістична оцінка точності алгоритму через неправильно проведеного тестування є дуже поширеною помилкою. Завжди потрібно тестувати алгоритм на нових даних, які він буде обробляти в реальному використанні, а не на даних, на яких він був навчений.

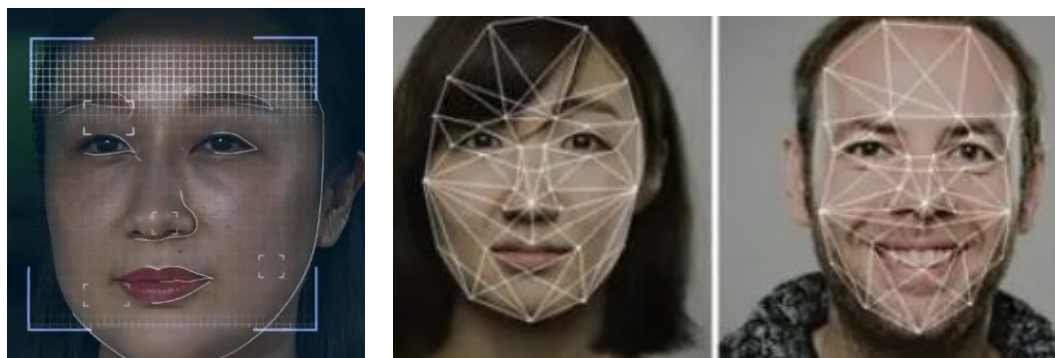


Рисунок 4 Виявлення вузлових точок на обличчі і вимірювання відстаней між ними

Тести показали, що для успішного розпізнавання обличчя потрібно, щоб обличчя було представлено не менше 160 пікселів на овал обличчя, а в ідеалі відстань між очима припадало не менше 50 пікселів. Як би ретельно ви не вибирали місце розташування камери, для досягнення цих значень її доведеться коригувати на місці в залежності від багатьох факторів [298]. Це те, для чого знадобиться варифокальна лінза.



Рисунок 5. Комплект системи контролю доступу ZM-280LED

В комплект системи контролю доступу ZM-280LED з електромагнітним замком (рис. 5) для самостійної установки входять:

- контролер, керуючий замком;

- електромагнітний замок, який утримує двері;
- доводчик дверей, що дозволяє не замислюватися про те, що двері не були закриті;
- зчитувач карток доступу та посвідчень співробітників
- кнопки «Вихід», щоб можна було вільно виходити за двері;
- кнопка аварійного розблокування дверей з ремонтною вставкою;
- невеликий планшет на рецепції для управління IP-домофоном і відкриття дверей;
- сканер для ідентифікації товару або аналізу переміщення техніки;
- живлення;
- програмне забезпечення для управління контролером, його налаштуваннями
- контролер Z-5R – 1 шт
- зчитувач Matrix II – 1 шт.
- електромагнітний замок ZM-280LED – 1 шт.
- кутовий LS-280 – 1 шт
- доводчик DC-603OH Срібло – 1 шт.
- кнопка виведення ПБК-815 – 1 шт.
- брелок RFID-EM-B – 10 шт.
- блок живлення БГП-125Літ – 1 шт

Основні параметри контролерів «Castle EP2

Температура навколишнього середовища Від 0 до +45 оС

Відносна вологість повітря- Не більше 85 відсотків

Атмосферний тиск 84–106,7 кПа

Напруга живлення 9,9...17,8 В

Струм споживання Не більше 160 мА

Максимальна комутована напруга виходів силового реле 30 В

Граничний комутований струм силових релейних виходів 5 А

Гранична комутована напруга виходів типу ОК 30 В

Граничний комутований струм виходів типу ОК 0,1А

Автономна пам'ять, розриви: до 7000

Автономна пам'ять, доступ до графіків: до 500

Автономна пам'ять, події: До 40 000

Кількість підключених читачів будь-який з інтерфейсами виводу.

Wiegand26 або Dallas Touch Memory

Кількість замків, що підключаються EP2: 2

Кількість кнопок EP2: 3; (1 кнопка на замок , 1 кнопка блокування)

Програмне забезпечення має модульну структуру. В ході реалізації встановлюються тільки необхідні для вирішення проблеми модулі. Обов'язковим є лише «Замкове ядро».

Основні функції системи:

- Підтримувати зв'язок з контролерами системи через мережу.
- Контроль стану контролерів (контроль рівня напруги живлення та інші функції).
- Прозоре управління базою даних для користувача, регулярна автодіагностика бази даних, автоматичне створення резервних копій даних за розкладом.
- Централізоване управління перепустками та їх правами доступу.
- Автоматичне отримання подій від контролерів, їх архівація в базу даних системи.
- Формувати звіти про події на основі інформації з бази даних.
- Передавання звітів у формат Microsoft Excel.
- Управління правами операторів (користувачів) програмного забезпечення.
- Логування всіх дій операторів (користувачів), генерація звітів про дії операторів.

Всі функції доступні як локально, так і віддалено з іншого комп'ютера через IP-мережу. Кількість віддалених підключень до нього не обмежена. Наявність запущеного програмного забезпечення не є обов'язковою умовою для роботи контролерів. Програма може працювати на вимогу [299-300].

Модуль розпізнавання дозволяє створювати списки відвідувачів, кожному співробітнику фірми відповідає фотографія і унікальний ідентифікатор.

На момент розпізнавання осіб в системі залишається подія, яку було розпізнано, можна переглянути звіт про ці події. Окремо розроблено сценарії інтеграції з іншими системами, коли подія розпізнавання має ініціювати реакцію з боку інтегрованої системи. Для того, щоб реалізувати цю логіку, передбачено механізм підписки на події всередині Flussonic Watcher.

Це працює наступним чином: через API можна вказати URL-адресу, на яку Flussonic Watcher надішле JSON з даними розпізнаного об'єкту [299-301].

Спосіб відправки подій розпізнавання об'єкту на задану URL-адресу виконується наступним чином:

- event_type = push_visitor_list
- notification_type - id створеного раніше списка об'єктів
- notify_url - url, пересилаються повідомлення

В цьому випадку повідомлень може бути два:

1) з'явився конкретний об'єкт:

- event_type = push_visitor_single -notification_type –паспорт
- notify_url - url, на які будуть отримані повідомлення про подію визнання

2) з'явився будь-який об'єкт з категорії

- event_type = push_visitor_category
- notification_type = id категорії

вказаний URL на момент розпізнавання прийде в форматі JSON:

```
{"registration_ids": [],  
"priority": "high", "notification": {  
  "7d8ea4ebf2",  
  "targetScreen": "camera_events", "event": " visitor ",  
  "person_look_took": 0,  
  "event_start_at": 1593706529,  
  "camera": " visitor.detection.test.camera-  
  visitor ": { "id": 135,  
  "first_seen_at": "2022-10-02 11:16:11",
```

```
"id": " visitor.detection.test.camera-7d8ea4ebf2", "body": " visitor detected",  
"group": "camera1_group1"  
},  
"data": {  
"last_seen_at": "2024-10-26 18:06:08", " visitor _list_id": 1,  
"name": " Visitor 135"}, "camera_id": "об'єкт.виявлення.тест.камера-7d8ea4ebf2",  
"utc": "1593706530" }
```

Інтеграція з комплектом системи контролю доступу

Для зв'язку з системою контролю доступу потрібно встановити TCP- з'єднання з її сервером, пройти авторизацію приладу і відправити команди зазначеного формату. "ALLOWPASS" <ap-id> <obj> <direction>

З усього списку команд знадобиться тільки одна, суть якої полягає в тому, щоб сказати, через яку точку доступу який об'єкт намагається пройти.

Модуль розпізнавання здатний відправляти події, а сервер автоматичного керування має можливість прийому команд. Невеликий інтеграційний модуль, який:

- піднімає веб-сервер;
- отримує від модуля визнання подій;
- встановлює з'єднання з сервером автоматичного керування;
- дає команду на встановлене з'єднання з сервером;
- синхронізує ідентифікатори в обох системах
- інтегрує модуль «Інтеграція» просто перевірив ідентифікатор співробітника (клієнта) в ACS.It

Модуль реагує на рухи, що відбуваються перед вхідними дверима.

Перевірка: людина підходить до дверей офісу, підносить руку до вхідних дверей і в цей момент спрацьовує система розпізнавання образів. Система ідентифікує людину за списком об'єктів, подія про факт розпізнавання об'єктів відправляється на сервер інтеграційного модуля, де і розпаковується.

Ідентифікатор визнаного об'єкту відправляється у вигляді команди на запит доступу в сервер автоматичного керування.

Система розпізнає, ідентифікує з базою даних та вирішує, чи можна впускати дану особу в офіс.

Архітектура згорткових нейронних мереж.

Особливістю згорткової нейронної мережі є чергування згорткового і підвибіркового шарів. Структура мережі односпрямована (без зворотного зв'язку), багат шарова. Для навчання цієї нейронної мережі найчастіше використовується метод зворотного поширення. Особлива архітектура згорткової нейронної мережі спрямована на розпізнавання образів. Свою назву мережева архітектура отримала завдяки наявності операції згортки, суть якої полягає в тому, що кожен фрагмент зображення множить на матрицю (ядро) згортки елемент за елементом, а результат підсумовується і записується в аналогічному положенні вихідного зображення. Архітектура згорткової нейронної мережі складається з безлічі шарів. Шар - це один або кілька нейронів, входи яких забезпечуються одним і тим же загальним сигналом. Шари згорткової нейронної мережі можуть бути згортковими і субвибірковими. Кожен нейрон у шарі отримує вхідні сигнали з якоїсь області з попереднього шару [303].

Математичний опис відсканованого зображення.

Нейронна мережа для розпізнавання образів визначається набором вхідних нейронів, які можуть бути активовані за допомогою пікселів вхідного зображення. Штучні нейронні мережі – це прості математичні моделі, які визначають функцію $f : X \rightarrow Y$ Математично функція нейрона в мережі $f(x)$ визначається як композиція інших функцій $g_i(x)$. Широко використовується такий вид композиції, як нелінійна зважена сума:

$$f(x) = K(Z_i w_i g_i(x)), \quad (1)$$

де K - функція активації, Z_i - набір значень або градація критерію $f(x)$ («шкала» критерію), множина функцій $g_i(x)$ визначається у вигляді вектора $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$, а w_i - ваги, призначені для врахування важливості критеріїв [297]. Залежності між змінними в мережі показані на рис. 5.

Існує також випадкова величина $F = f(x)$, яка залежить від випадкової величини $G = g(H)$.

$G = g(H)$, в свою чергу, залежить від величини $H = h(X)$ і, в результаті, всі значення виявляються залежними від випадкової величини X . Крім функції активації, в згортковій нейронній мережі також використовуються формули для функціонування нейронів в згортковому і згортковому шарі підвибірки.

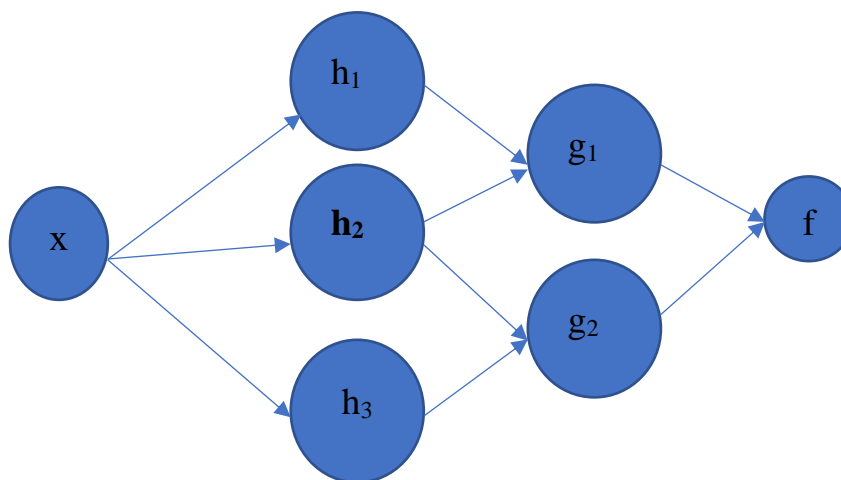


Рисунок 5. Зв'язки між змінними в мережі

Формула функціонування нейрона згорткового шару мережі:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + \sum_{s=1}^K \sum_{t=1}^K w_{k,s,t} x^{((i-1)+s,(j+t))}, \quad (2)$$

$s=1$ $t=1$ где $y_k^{(i,j)}$ – нейрон k -ї площини згорткового шару,

b_k – зсув нейронів k -ї площини згорткового шару,

K – розмір рецептивної області нейрона,

$w_{k,s,t}$ – матриця синаптичних коефіцієнтів,

x – виходи нейронів попереднього шару.

Формула функціонування нейрона в підвибірковому шарі:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + 1/4 w_{k,s,t} \sum^2 \sum^2 w_{k,s,t} x^{((i-1)+s,(j+t))} \quad (3)$$

Нейронні мережі не програмуються в звичному розумінні цього слова, вони тренуються. Однією з найважливіших переваг нейронних мереж перед іншими алгоритмами розпізнавання є здатність до навчання. Це навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами [304-305].

У згортковій нейронній мережі як метод навчання використовується алгоритм поширення помилок. Для вимірювання якості розпізнавання використовується функція середньоквадратичної помилки:

$$E_p = \sum_j (t_{pj} - o_{pj})^2, \quad (4)$$

де E_p – величина функції похибки зображення p ,

t_{pj} - бажаний вихід нейрона j для зображення p ,

o_{pj} - фактичний вихід нейрона j для зображення p .

Остаточна корекція синаптичних коефіцієнтів проводиться за наступною формулою:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \delta_{pj} o_{pj}, \quad (5)$$

де η – це коефіцієнт пропорційності, який впливає на швидкість навчання.

Під час навчання нейронна мережа може визначати складні залежності між вхідними та вихідними даними, виконувати узагальнення.

В результаті успішного навчання нейронна мережа зможе видати правильний результат навіть при неповних або спотворених даних.

Для успішного тренування мережі потрібно наблизити вихід мережі до потрібного виходу, а для зменшення величини функції помилки потрібно регулювати вагові коефіцієнти нейронів [304, 305].

Для внесення інформації в базу даних мережа вводить фотографію людини. На фото за допомогою нейронної мережі виконується пошук області обличчя. Потім вибирається ця область обличчя, коригується яскравість і контрастність зображення. Після цього цей портрет зберігається в окремому файлі бази даних.

До зображення додається додаткова інформація про людину: стать, вік і посада, яка зберігається в тому ж файлі бази даних, а також зображення. Схема розпізнавання обличчя згорткової нейронної мережі показана в описі об'єкта, наведеному на рис. 6.

Проаналізувавши основні алгоритми обробки зображень для розпізнавання обличчя в системах спостереження, були виявлені основні недоліки, такі як нечутливість до повороту голови, положення особи на зображенні або освітлення.

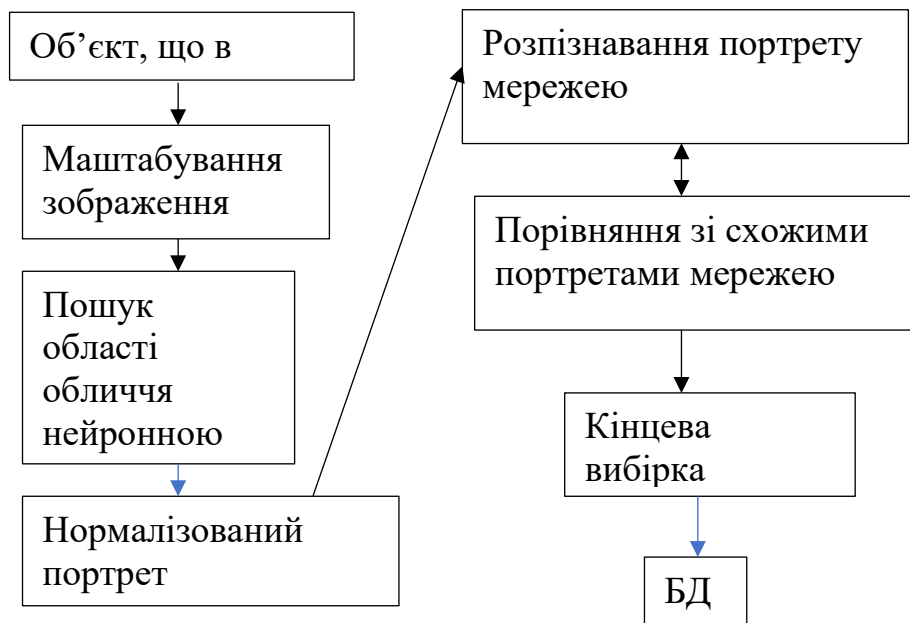


Рисунок 6. Схема розпізнавання об'єкту згорткової нейронної мережі

Використання згорткової нейронної мережі має ряд переваг перед іншими методами розпізнавання, основним з них є їх здатність до навчання для виявлення ключових характеристик особи, при хорошому навчанні нейронна мережа забезпечує високий результат розпізнавання навіть при спотворенні даних. Роботу згорткових нейронних мереж можна порівняти з візуальним сприйняттям людини. Згорткові нейронні мережі зазвичай використовуються в задачах комп'ютерного зору, тому що дані зі структурою сітки в основному є

картинками. Зазвичай у їхні завдання входить класифікація зображень, детектування та сегментація.

Згорткова нейронна мережа сприймає зображення у вигляді тривимірних масивів матриць або чисел. Тому перед введенням моделі дані необхідно підготувати. Для цього використовуються системи обробки зображень. Програма автоматично присвоює певне значення кожному пікселю.

Під час обробки фільтр множить значення вибраного пікселя та значення його сусідів відповідно до матриці фільтра. Потім отримані роботи складаються воедино. Отримане число замінює вихідне значення центрального пікселя.

Можливість отримання класифікатора, який добре імітує складну функцію розподілу зображень обличчя, що в свою чергу підвищує точність вирішення проблем розпізнавання обличчя в системах спостереження (порівняння результатів зведено в таблицю 2).

Таблиця 2. Порівняння результатів алгоритмів виявлення об'єктів

Алгоритм, що тестується	Рівень виділення	Рівень хибних спрацювань
Тільки яркість	92% (217)	51% (250)
Завдання кластеру об'єкту	85% (201)	26%(72
Непараметрична модель об'єкту	88%(209)	26%(44)

Висновки

Зроблені розрахунки на обладнання - відповідно бюджету фірми. Для реалізації було обрано надійне обладнання - IP камери Dahua IPC-HDW4231EMP-AS та відеокамеру варифокальна лінза до комплекту контролю доступу на одні двері.

Розроблено модуль розпізнавання людей, який дозволяє створювати списки відвідувачів. Усім співробітникам фірми створено унікальний ідентифікатор і відповідає власна фотографія. На вході відбувається

розпізнавання осіб і в системі залишається подія-розпізнавання, звіт зберігається (термін зберігання задається) і можна його переглянути.

Окремо розроблено сценарії інтеграції з іншими системами, коли подія розпізнавання має ініціювати реакцію з боку інтегрованої системи. Для того, щоб реалізувати цю логіку, передбачено механізм підписки на події всередині Flussonic Watcher.

Тестування системи показало, що система працює гідно: співробітник ідентифікується за списком осіб, подія про факт розпізнавання осіб відправляється на сервер інтеграційного модуля, де і розпаковується. Ідентифікатор визнаної особи надсилається у вигляді команди на запит доступу на сервер автоматичного керування. Результат – інформація чи можна впускати співробітника чи ні на підставі правил доступу. Особа пройшла ідентифікацію - двері відмикаються. Відкриття супроводжується звуковою сигналом і зеленою підсвіткою на зчитувачі карт доступу.

Проаналізувавши основні алгоритми обробки зображень для розпізнавання обличь в системах спостереження, були виявлені основні недоліки, такі як нечутливість до повороту голови, положення особи на зображенні або освітлення. Використання згорткової нейронної мережі має ряд переваг перед іншими методами розпізнавання, основним з них є їх здатність до навчання для виявлення ключових характеристик особи, при хорошому навчанні нейронна мережа забезпечує високий результат розпізнавання навіть при спотворенні даних [304,305]. Можливість отримання класифікатора, який добре імітує складну функцію розподілу зображень обличь, що в свою чергу підвищує точність вирішення проблем розпізнавання обличь в системах спостереження.

8.5 Науково-методичний апарат обробки різнотипних даних в автоматизованих системах управління спеціального призначення

8.5.1. Обґрунтування доцільності використання теорії штучного інтелекту для обробки різнотипних даних в автоматизованих системах управління

Метою цього розділу є обґрунтування необхідності застосування теорії нечітких графів для опису процесу обробки різнотипних даних в автоматизованих системах управління (АСУ) [306-325].

Одним із можливих способів опису моделей процесу опису процесу обробки різнотипних даних в АСУ є застосування теорії нечітких графів, основною перевагою якої є можливість адекватного представлення вихідних даних відносно вхідної інформації, що представляється слабо-структурованими (нечіткими) показниками. Дана перевага дозволяє застосувати теорію нечітких графів в задачах аналізу оперативної обстановки в умовах невизначеності [326–344].

Модель процесу обробки різнотипних даних в АСУ можна представити у вигляді матриці знань (бази знань) (таблиця 1), що містить кількісні та якісні ознаки та характеристики функціонування АСУ [345-364].

Матрицею знань [365, 366] називається таблиця, що сформована за такими правилами:

1. Розмірність матриці $(n+1) \times N$, де $(n+1)$ – кількість стовпців, а $N = k_1 + k_2 + \dots + k_m$ – кількість рядків.

2. Перші n стовпців матриці відповідають вхідним змінним $i = \overline{1, n}$, а $(n+1)$ -й стовпець відповідає значенням d_j вихідній змінній $y(j = \overline{1, m})$.

3. Кожний рядок матриці являє собою деяку комбінацію знань вхідних змінних, яка віднесена експертом до одного з можливих значень вихідної змінної

у. При цьому: перші k_j рядків відповідають значенню вихідної змінної $y = d_1$, другі k_2 рядків – значенню $y = d_2$, останні k_m – значенню $y = d_m$.

4. Елемент a_i^{jp} , що стоїть на перетині i -го стовпця та jp -го рядка відповідає лінгвістичній оцінці параметра x_i в рядку нечіткої бази знань з номером jp . При цьому лінгвістична оцінка a_i^{jp} обирається з терм-множини відповідної змінної x_i , тобто $a_i^{jp} \in A_i$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $p = \overline{1, k_j}$.

Таблиця 1 – Модель функціонування АСУ на проміжку часу

Номер вектору ознак на вході	Ознаки елементів АСУ (вхідні змінні)				Рішення оцінювання обстановки (Вихідна змінна)
	x_1	x_2	$\dots x_i \dots$	x_n	y
11	a_1^{11}	a_2^{11}	$\dots a_i^{11} \dots$	a_n^{11}	d_1
12	a_1^{12}	a_2^{12}	$\dots a_i^{12} \dots$	a_n^{12}	
...	
$1k_1$	$a_1^{1k_1}$	$a_2^{1k_1}$	$\dots a_i^{1k_1} \dots$	$a_n^{1k_1}$	
...					
$j1$	a_1^{j1}	a_2^{j1}	$\dots a_i^{j1} \dots$	a_n^{j1}	d_j
$j2$	a_1^{j2}	a_2^{j2}	$\dots a_i^{j2} \dots$	a_n^{j2}	
...	
jk_j	$a_1^{jk_j}$	$a_2^{jk_j}$	$\dots a_i^{jk_j} \dots$	$a_n^{jk_j}$	
...					
$m1$	a_1^{m1}	a_2^{m1}	$\dots a_i^{m1} \dots$	a_n^{m1}	d_m
$m2$	a_1^{m2}	a_2^{m2}	$\dots a_i^{m2} \dots$	a_n^{m2}	
...	
mk_m	$a_1^{mk_m}$	$a_2^{mk_m}$	$\dots a_i^{mk_m} \dots$	$a_n^{mk_m}$	

Представлена модель структурно складається з m шарів ознак (сукупності вхідних інформаційних масивів) на певних проміжках часу та можливих варіантів функціонування АСУ (сукупності рішень). Прийняття рішення здійснюється на кожному етапі з урахуванням ознак функціонування АСУ [367–391].

Ієрархічні системи нечіткого логічного висновку. Для моделювання багатомірних залежностей “входи – виходи” доцільно використовувати ієрархічні системи нечіткого висновку. У таких системах вихід однієї бази знань подається на вхід іншої, більш високого рівня ієрархії. В ієрархічних базах знань відсутні зворотні зв’язки. На рисунку 1 наведено приклад ієрархічної нечіткої системи, яка моделює залежність $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ з допомогою трьох баз знань f_1, f_2, f_3 .

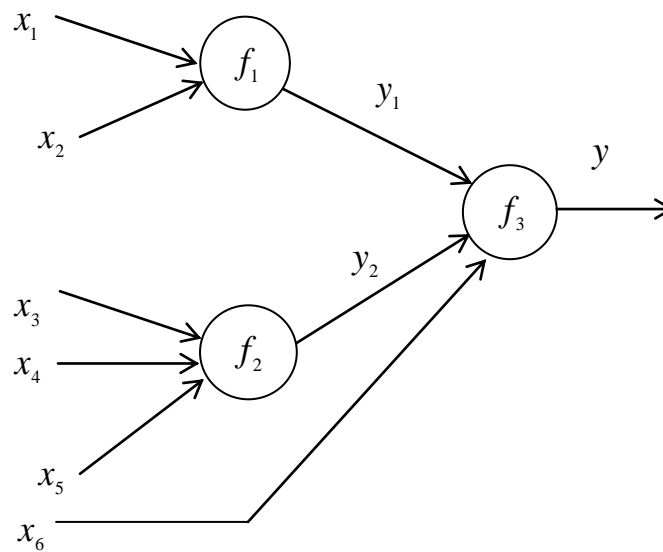


Рис. 1 – Приклад ієрархічної системи нечіткого виводу

Ці бази знань описують залежності $y_1 = f_1(x_1, x_2)$, $y_2 = f_2(x_3, x_4, x_5)$ та $y = f_3(y_1, x_6, y_2)$. Застосування ієрархічних нечітких баз знань дозволяє подолати “прокляття розмірності”. Ще однією перевагою ієрархічних баз знань – компактність. Невеликою кількістю нечітких правил в ієрархічних базах знань можна адекватно описати багатомірні залежності “входи – виходи”.

Нехай для лінгвістичної оцінки змінних використовується по п'ять термів. Тоді максимальна кількість правил для задавання залежності $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ за допомогою однієї бази знань буде складати $5^6 = 15625$. При нечіткому виводі за ієрархічною базою знань процедури дефазифікації і фазифікації для проміжних змінних y_1 та y_2 (рис. 1) не виконуються. Результат логічного висновку у вигляді нечіткої множини $\tilde{y}^* = \left(\frac{\mu_1(X^*)}{\tilde{d}_1}, \frac{\mu_2(X^*)}{\tilde{d}_2}, \dots, \frac{\mu_m(X^*)}{\tilde{d}_m} \right)$ напряму передається до машини нечіткого висновку наступного рівня ієрархії. Тому для проміжних змінних в ієрархічних нечітких базах знань достатньо задати тільки терм-множини, без описання функції належностей.

8.5.2. Методика розподілу даних в автоматизованих системах управління

Сутність методики розподілу даних в АСУ полягає у раціональному розподілі даних між елементами АСУ, за рахунок відбору найбільш важливих джерел даних і раціональної кількості градацій, забезпечити задану ймовірність правильного розпізнавання типу даних, що в них циркулює.

Для вибору варіанту плану розподілу джерел даних між елементами АСУ використовуються часткові показники якості розподілу:

1. Повнота охоплення спостереженням елементів АСУ Π , що розраховується як відношення суми коефіцієнтів важливості елементів АСУ Y_j , що включені в план розподілу, до суми коефіцієнтів важливості всіх елементів АСУ:

$$\Pi = \frac{\sum_{j=1}^{\{m\}_u} Y_j}{\sum_{j=1}^J Y_j}, \quad (1)$$

де $\{m\}_u$ – кількість елементів АСУ, вибрані для спостереження в u -му плану розподілу.

2. Витрати технічного ресурсу навантаження АСУ, що визначається як сума витрат технічних ресурсів АСУ $S_{загАСУ}$.

3. Ймовірність відстеження стану та характеру діяльності усієї сукупності елементів АСУ, що підлягають розподілу – \bar{P} .

$$\bar{P} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_j, \quad (2)$$

де P_j – ймовірність відстеження стану та характеру діяльності елементів АСУ, що включені до плану розподілу.

Тоді система часткових показників якості вибору плану розподілу даних між елементами АСУ буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \Pi \rightarrow \max \\ S_{загАСУ} \rightarrow \min. \\ \bar{P} \rightarrow \max \end{cases} \quad (3)$$

З урахуванням системи часткових показників, функціонал, що відображає якість розподілу даних між елементами АСУ за умови вибору того чи іншого варіанту плану розподілу Π , можна записати у вигляді:

$$F_{\Pi_{opt}} = \max F(\Pi_{\Pi_U}, S_{загАСУ\Pi_U}, \bar{P}_{\Pi_U}). \quad (4)$$

Однак в існуючих методиках розподілу інформації за важливістю елементів АСУ розрахунок коефіцієнтів важливості здійснюється неявно (4), крім того, порядок їх розрахунку не визначено.

Отже, виникає актуальна наукова задача багатокритеріальної оптимізації процесу розподілу даних між елементами АСУ з урахуванням їх важливості для підвищення ефективності обробки даних.

Тоді (4) можна переписати у вигляді:

$$F_{\Pi_{opt}} = \arg \max_{im \in Im} F(Im, S_{загАСУ\Pi_U}, \bar{P}_{\Pi_U}), \quad (5)$$

де \mathbf{Im} – вектор коефіцієнтів важливості (пріоритетності) елементів АСУ в смузі спостереження; \bar{P}_{Π_u} – ймовірність відстеження стану та характеру діяльності елемента АСУ при виборі u -го плану розподілу.

Важливість елемента АСУ можна розглядати як неметричний критерій корисності (НКК). Основною складністю при розв'язанні поставленої задачі є представлення НКК у кількісному вигляді з метою його подальшого введення до функції корисності (ФК).

Для представлення НКК у кількісному вигляді визначені неметричні часткові критерії корисності (НЧКК), які мають характеризувати важливість елемента АСУ.

Основними НЧКК виступають ступінь пріоритетності задачі в інтересах якої ведеться розподіл, або ступінь пріоритету елемента АСУ ($X_{\text{пріор}}$); ступінь інформативної цінності ($X_{\text{інф}}$); ступінь оперативної цінності елемента АСУ ($X_{\text{опер}}$).

Позначимо $Q(X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}})$, як функцію корисності НЧКК.

$X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}}$ незалежні системи величин. Тоді функції корисності НЧКК можна представити системою виразів:

$$\begin{cases} \psi_{\text{пріор}} = Q(X_{\text{пріор}})f(X_{\text{пріор}}), \\ \psi_{\text{інф}} = Q(X_{\text{інф}})f(X_{\text{інф}}), \\ \psi_{\text{опер}} = Q(X_{\text{опер}})f(X_{\text{опер}}), \end{cases} \quad (6)$$

де $f(X_{\text{пріор}})$, $f(X_{\text{інф}})$, $f(X_{\text{опер}})$ – функції залежності корисності від метричних критеріїв.

У свою чергу функція корисності елемента АСУ матиме вираз:

$$\psi = Q(X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}})f(X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}}). \quad (7)$$

Для дослідження впливу неметричних критеріїв введемо обмеження, сутність якого полягає в тому, що вплив метричних критеріїв є рівноцінним, тобто (немає залежності від метричних критеріїв):

$$f(X_{\text{пріор}}) = f(X_{\text{інф}}) = f(X_{\text{опер}}) = 1. \quad (8)$$

Аналіз обмеження (8) показує, що показники між собою рівноцінні за метричним критерієм. В свою чергу функції залежності корисності від неметричних критеріїв змінюються за лінійним законом і визначаються нижнім і верхнім значенням прийнятих оцінок. Здійснивши операцію нормування за максимальним значенням, виходячи із прийнятої шкали будь-яка перевага одного із показників виразу (8) за неметричним критерієм призведе до домінування функції корисності відповідного показника.

Враховуючи (8), вираз (7) буде представлений, як:

$$\psi = Q(X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}}). \quad (9)$$

З метою вибору раціонального виду функції корисності $Q(X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}})$ зручно представити $X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}}$ у вигляді нечітких множин [368, 369], а оцінки НЧКК, як їх елементи відповідно. Тоді $Q(X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}})$ можна ототожнити з функцією належності набору вхідних значень показників основних НЧКК $x_{\text{пріор}}, x_{\text{інф}}, x_{\text{опер}}$ до нечітких множин $X_{\text{пріор}}, X_{\text{інф}}, X_{\text{опер}}$, відповідно. Таким чином, задачу визначення важливості елементу АСУ можна сформулювати як задачу прийняття рішення щодо важливості елементу АСУ, а результат процесу прийняття рішення можна представити у вигляді:

$$\text{Im} = Q(x_{\text{пріор}}, x_{\text{інф}}, x_{\text{опер}}), \quad (10)$$

де $x_{\text{пріор}}, x_{\text{інф}}, x_{\text{опер}}$ – набір вхідних значень показників основних НЧКК; Im – рішення щодо визначення важливості елементу АСУ.

Завдання прийняття рішення щодо визначення важливості елементу АСУ полягає в тому, щоб на основі інформації про вектор вхідних показників ($x_{\text{пріор}}, x_{\text{інф}}, x_{\text{опер}}$) визначити результат Im. Необхідною умовою формального розв'язання поставленої задачі є наявність залежності (10). Для встановлення такої залежності необхідно розглядати вхідні показники (НЧКК) і вихідне рішення як лінгвістичні змінні, що задані на універсальних множинах.

Для оцінювання таких лінгвістичних змінних пропонується використовувати якісні терми, що складають терм-множину:

$$X_{инф} = \{H, нС, С, вС, В\} - \text{терм-множина змінної } x_{инф},$$

$$X_{опер} = \{H, нС, С, вС, В\} - \text{терм-множина змінної } x_{опер},$$

$$X_{пріор} = \{H, С, В\} - \text{терм-множина змінної } x_{пріор},$$

$$Im = \{H, нС, С, вС, В\} - \text{терм-множина змінної } Im,$$

де $H, нС, С, вС, В$ – відповідно “низький”, “нижче середнього”, “середній”, “вище середнього”, “високий”;

Im – множина змінних, що характеризують важливість елементу АСУ:

$$X_{инф} = [1,5],$$

$$X_{опер} = [1,5], \quad (11)$$

$$X_{пріор} = [1,3],$$

$$Im = [1,5].$$

Для оцінювання значень лінгвістичних змінних $x_{пріор}, x_{инф}, x_{опер}$, відповідно (11) використаємо відповідну шкалу якісних термів.

У відповідності з методиками когнітивної інженерії щодо синтезу баз знань отримано бази знань, що характеризують важливість е. Використовуючи математичний апарат теорії нечітких множин базу знань перетворено в логічні рівняння:

$$\mu^{Im_j}(X_{пріор}, X_{инф}, X_{опер}) = \max_j \left\{ \min_i \left[\mu^J(x_{i(пріор)}), \mu^J(x_{i(инф)}), \mu^J(x_{i(опер)}) \right] \right\}, \quad (12)$$

де μ – функції належності відповідних лінгвістичних змінних $x_{пріор}, x_{инф}, x_{опер}, Im$, множинам $X_{пріор}, X_{инф}, X_{опер}, Im$. $J \in \{H, нС, С, вС, В\}$; $x_{i(пріор)} \in [1,2,3]$; $x_{i(инф)} \in [1,2,3,4,5]$; $x_{i(опер)} \in [1,2,3,4,5]$; $Im_i \in [1,2,3,4,5]$.

З аналізу числових результатів експерименту зроблено висновок, що прийняття рішення щодо важливості елементів АСУ визначається виразом:

$$\frac{x_{inf} + x_{oper}}{2} \cdot x_{prior} = Im. \quad (13)$$

Мінімальне значення, що може приймати вираз (13) становить $Im = 1$, тоді максимальне $Im = 15$. Визначимо ФН до термів-множин важливості елементів АСУ.

Для цього приведемо інтервали вимірів кожної змінної до одного універсального інтервалу [305,309] за допомогою співвідношення:

$$\mu^j(Im_i) = \tilde{\mu}^j(u), u = 4 \frac{Im_i - Im}{Im - Im}, j = H, nC, C, vC, B, \quad (14)$$

Аналітична модель функції належності представлена виразом:

$$\mu^j(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-b}{c}\right)^2}, \quad (15)$$

де параметри b і c задаються за результатами попередньої оцінки функціонування АСУ.

Графічне зображення ФН згідно з виразом (15) наведено на рис. 2

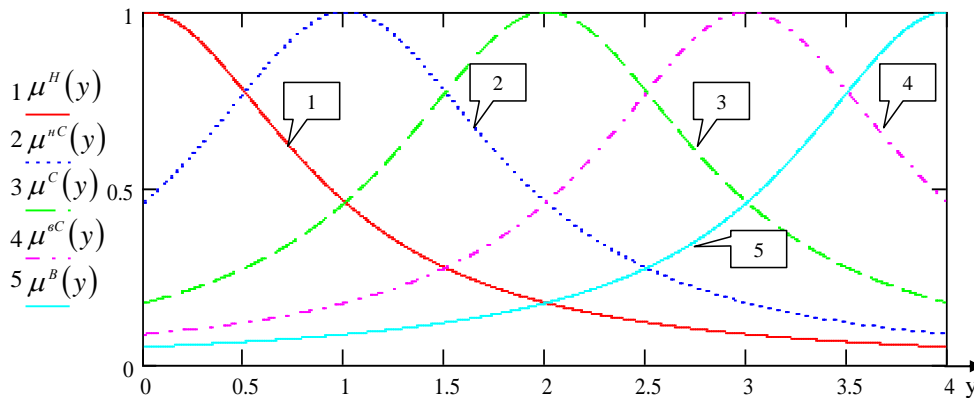


Рис. 2 – Графічне зображення ФН нечіткої множини ступенів важливості елементу АСУ

Розрахунок коефіцієнтів PI. Визначаються коефіцієнт пріоритетності x_{prior} , коефіцієнт ступеню інформативної цінності x_{inf} , коефіцієнт ступеню оперативної цінності x_{oper} .

Розрахунок важливості ОР. За допомогою (13) розраховуються значення важливості відповідного елементу АСУ.

Визначення лінгвістичного значення важливості елементу АСУ.

Оптимізація вектору ознак функціонування елементу АСУ.

Відомо, що зі збільшенням кількості ознак, які характеризують процес функціонування елементу АСУ, збільшуються час необхідний для ідентифікації режиму його функціонування та інші затрати, в першу чергу апаратні, в наслідок чого знижується оперативність процесу оцінювання.

Виділення інформативних ознак у реальній обстановці є складним завданням, особливо при веденні оцінювання процесу функціонування елементів системи АСУ, коли набір ознак може бути дуже великим, а самі ознаки корельовані між собою. Тому постає завдання відбору й виділення групи найбільш інформативних ознак з метою зменшення розмірності вектору вихідних даних при одночасному знаходженні такої системи координат, у якій ймовірність правильного розпізнавання елементів АСУ буде максимальною або достатньою для прийняття рішення.

Зменшення розмірності простору ознак в умовах великої кількості елементів системи АСУ відіграє значну роль, оскільки збільшує пропускну спроможність каналів системи АСУ у цілому. Тому, що збільшення кількості ознак, що характеризують елемент системи АСУ значною мірою призводить до збільшення похибок ідентифікації.

Залежність імовірності ідентифікації процесу функціонування елементу системи АСУ від розмірності простору ознак наведено на рисунку 4.

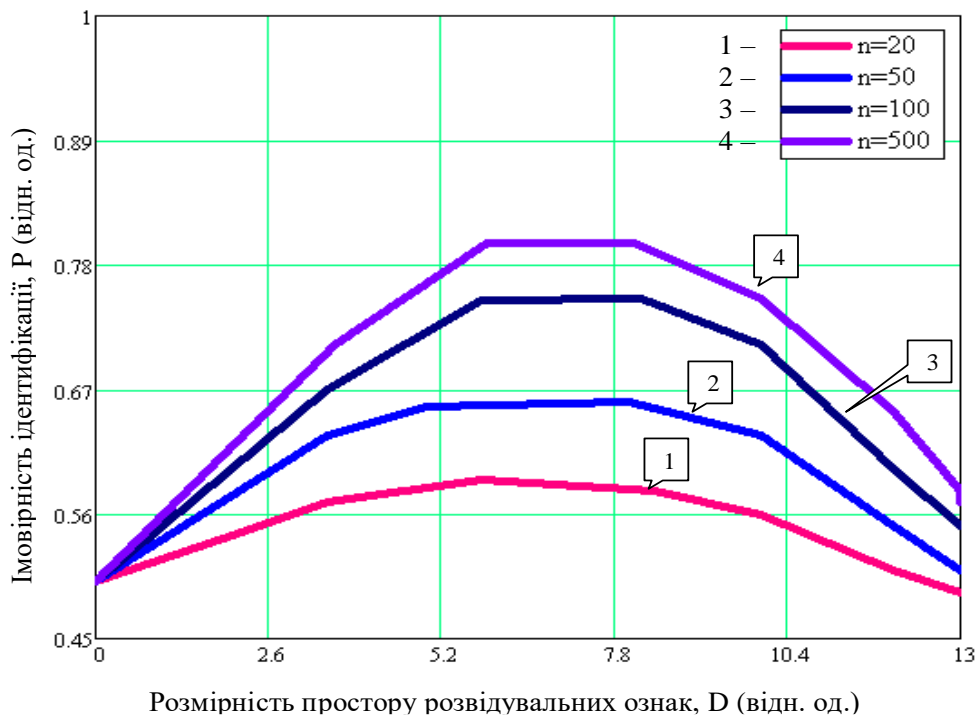


Рис. 3 – Залежність імовірності ідентифікації режиму функціонування елемента АСУ від розмірності простору ознак

З наведених графіків видно, що довільне збільшення розмірності простору ознак може призвести до погіршення ймовірності правильного розпізнавання.

Формування вектору ознак елемента АСУ математично може бути представлено у вигляді:

$$Y = AX, \quad (16)$$

де X – вектор ознак, що характеризують процес функціонування елемента АСУ; Y – вектор можливих рішень; A – матриця перетворень.

Перевірка оптимальної розмірності вектору ознак. Умовою закінчення циклу ліквідації градацій є величина порогу втрат інформативності за усіма ознаками $(\sum \Delta I_k)_{\max}$ або за конкретною ознакою. Можна також задати максимальну кількість градацій, яку необхідно залишити в процесі мінімізації.

На рис. 2 наведені криві зміни інформативності ознак залежно від кількості їх градацій. Аналіз цих кривих за усіма ознаками дає можливість мінімізувати кількість градацій в аспекті витрат пам'яті пристрою ідентифікації і сумарних витрат інформативності параметрів ідентифікації. Наведені

залежності свідчать, що кількість градацій ознак доцільно вибирати не більше 4-6 (по точці переломлення більшості кривих), що збігається з результатами наведеними на рисунку 3.

Проведення корегування параметрів системи. На підставі удосконаленої методики корегування параметрів, що заснована на використанні генетичного підходу, відбувається корегування параметрів системи.

8.5.3. Модель процесу оцінювання обробки різнотипних даних в АСУ з використанням експертної інформації.

Нехай відомі: множина рішень $D = \{d_j\}, (j = \overline{1, m})$, що відповідає результату оцінювання обробки різнотипних даних в АСУ y ; множина вхідних показників $X = \{x_i\}, (i = \overline{1, n})$; діапазони кількісної зміни кожного вхідної інформації $x_i \in [x_i^-, x_i^+], i = \overline{1, n}$; функції належності, що дозволяють представити показники $x_i, i = \overline{1, n}$ у вигляді нечітких множин; матриця знань, визначена за правилами (Табл. 1). Графічно її можна відобразити у вигляді рис. 4.

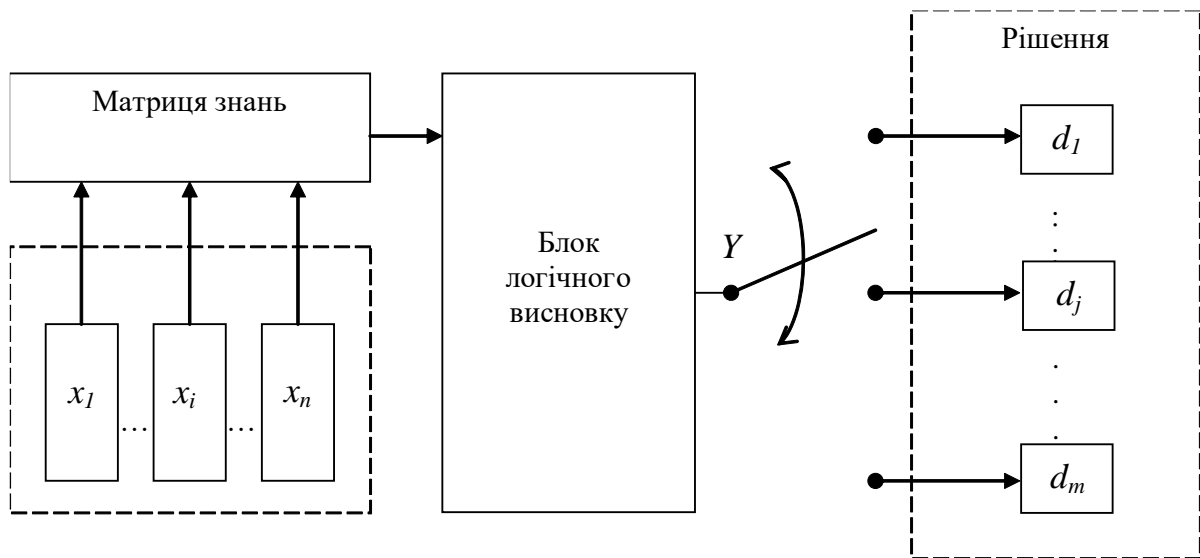


Рис. 4 – Модель процесу оцінювання оперативної обстановки

Розглянемо застосування моделі використання експертної інформації для

синтезу алгоритму оцінювання обробки різнотипних даних в АСУ.

З аналізу функціонування елементів АСУ в різних умовах обстановки визначені напрямки оцінювання: подібність показників обстановки та їх зміни в ході функціонування АСУ.

Опишемо модель оцінювання обробки різнотипних даних в АСУ:

$$D(k) = f \left[\begin{array}{l} Y_1(k-1), Y_2(k-1), \dots, Y_{14}(k-1), Q(k-1), R(k-1), \\ Z_1(k-1), \dots, Z_4(k-1) \end{array} \right], \quad (17)$$

де $Y_1(k-1)$ – вектор, що характеризує режим функціонування елементу АСУ №1 на $k-1$ кроці моделювання; $Y_2(k-1)$ – вектор, що характеризує режим функціонування елементу АСУ на $k-1$ кроці моделювання; $Y_{14}(k-1)$ – вектор, що характеризує режим функціонування елементу АСУ №14 на $k-1$ кроці моделювання; $Q(k-1)$ – вектор, що характеризує режим функціонування системи управління та зв'язку елементу АСУ №1; $R(k-1)$ – вектор, що характеризує режим функціонування системи управління та зв'язку елементу АСУ; $Z_1(k-1), \dots, Z_4(k-1)$ – вектори, що характеризують режими функціонування систем управління та зв'язку групових елементів АСУ.

У свою чергу вектори процесу оцінювання обробки різнотипних даних в АСУ визначаються показниками: $Y_1, \dots, Y_{14}, Q, R, Z_1, \dots, Z_4 = \{k_{11}(x), \dots, k_{145}(x)\}$.

Для показників, що мають кількісний вимір, діапазон зміни розбивається на чотири кванти. Це забезпечить можливість перетворення безперервної універсальної множини $U = [\underline{u}, \bar{u}]$ в дискретну п'ятиелементну множину:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_5\},$$

де $u_1 = \underline{u}$, $u_2 = \underline{u} + \Delta_1$, $u_3 = u_2 + \Delta_2$, $u_4 = u_3 + \Delta_3$, $u_5 = \bar{u}$, причому $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 = \bar{u} - \underline{u}$, $\bar{u}(\underline{u})$ – верхня (нижня) границя діапазону зміни показника. Тоді всі матриці парних порівнянь мають розмірність 5×5 . Вибір чотирьох квантів визначається можливістю апроксимації нелінійних кривих по п'ятьох точках.

Для оцінки значень лінгвістичних змінних $k_{11}, \dots, k_{21}, \dots, k_{141}, \dots, k_{145}$ будемо використовувати наступну шкалу якісних термів.

У загальному випадку вхідні змінні x_1, x_2, \dots, x_n можуть задаватися числом, лінгвістичним термом або за принципом термометра.

Оцінювання процесу обробки різнотипних даних в АСУ з використанням експертної інформації здійснюється з використанням нечітких логічних рівнянь, які являють собою матрицю знань і систему логічних висловлювань. Ці рівняння дозволяють обчислити значення функцій належності різних результатів ідентифікації при фіксованих значеннях вхідних показників. В якості результату процесу оцінювання процесу обробки різнотипних даних в АСУ, будемо приймати рішення з найбільшим значенням функції належності.

Лінгвістичні оцінки α_i^{jp} змінних x_1, x_2, \dots, x_n , що входять у логічні висловлення щодо рішень $d_j, j = \overline{1, m}$, розглянемо як нечіткі множини, визначені на універсальних множинах $X_i = \left[\underline{x}_i, \overline{x}_i \right], i = \overline{1, n}$.

Нехай $\mu^{a_i^{jp}}(x_i)$ – ФН показника $x_i \in \left[\underline{x}, \overline{x} \right]$ нечіткому терму $\alpha_i^{jp}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, l_i}$; $\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – ФН вектора вхідних змінних $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ значенню вихідної оцінки $y = d_j, j = \overline{1, m}$.

Зв'язок між даними функціями визначається нечіткою базою знань і може бути представлений у вигляді наступних логічних рівнянь:

$$\begin{aligned} \mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = & \mu^{a_1^{j1}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{j1}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{j1}} \vee \\ & \mu^{a_1^{j2}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{j2}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{j2}}(x_n) \dots \\ & \dots \mu^{a_1^{jl_j}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{jl_j}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{jl_j}}(x_n), j = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (18)$$

Рівняння отримані з нечіткої бази знань шляхом заміни змінних (лінгвістичних термів) на їх ФН, а операції І та ЧИ – на операції \wedge і \vee .

Коротко систему (18) запишемо таким чином:

$$\mu^{d_j}(x_i) = \bigvee_{p=1}^{l_j} \left[\bigwedge_{i=1}^n \mu^{a_i^{jp}}(x_i) \right], j = \overline{1, m}. \quad (19)$$

Нечіткі логічні рівняння є аналогом введеної Заде процедури нечіткого логічного висновку, що здійснюється за допомогою операції “нечітка (min-max) композиція”, в якій операціям \wedge і \vee відповідають операції min і max, з (19) одержуємо:

$$\mu^{d_j}(x_i) = \max_{p = \overline{1, l_j}} \left\{ \min_{j = \overline{1, n}} [\mu^{a_{jp}}(x_i)] \right\}. \quad (20)$$

З виразу (20) видно, що для розрахунку необхідно мати лише ФН змінних нечітким термам.

8.5.4 Удосконалена методика настроювання інформаційної системи оцінювання процесу обробки різнотипних даних в АСУ в умовах невизначеності

Сутність методики настроювання інформаційної системи оцінювання процесу обробки різнотипних даних в АСУ в умовах невизначеності полягає у підборі вагових коефіцієнтів продукційних правил при яких помилка між еталонним та експериментальним рішеннями буде мінімальною.

Ідентифікація на основі нечіткого логічного висновку здійснюється відповідно до визначеної бази знань:

ЯКЩО $(x_1 = a_{1,j1}) \text{ I } (x_2 = a_{2,j1}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_{n,j1})$ з вагою w_{j1} ,

АБО $(x_1 = a_{1,j2}) \text{ I } (x_2 = a_{2,j2}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_{n,j2})$ з вагою w_{j2} ,

.....

АБО $(x_1 = a_{1,jk_j}) \text{ I } (x_2 = a_{2,jk_j}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_{n,jk_j})$ з вагою w_{jk_j} , (21)

ТО $y = d_j, j = \overline{1, m}$,

де $a_{i,jp}$ – нечіткий терм, яким оцінюється змінна x_i в рядку з номером

$jp (p = \overline{1, k_j})$, тобто $a_{i,jp} = \int \mu_{jp}(x_i) / x_i$;

k_j – кількість рядків-кон'юнкцій, в яких вихід u оцінюється значенням d_j ;

$w_{jp} \in [0,1]$ – ваговий коефіцієнт правила з номером jp .

Функції відповідності процесу обробки різнотипних даних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ класам d_j розраховуються так:

$$\mu_{d_j}(X^*) = \bigvee_{p=1, k_j} w_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1, n} (\mu_{jp}(x_i^*)), j = \overline{1, m}, \quad (22)$$

де $\mu_{jp}(x_i^*)$ – функція відповідності входу x_i^* нечіткому терму $a_{i, jp}$; \wedge (\vee) – s-норма (t-норма), якій в задачах класифікації зазвичай відповідають максимум (мінімум).

В якості рішення вибрано клас з максимальною функцією відповідності розрахованого рішення $d_1 \dots d_m$:

$$y^* = \arg \max_{\{d_1, d_2, \dots, d_m\}} (\mu_{d_1}(X^*), \mu_{d_2}(X^*), \dots, \mu_{d_m}(X^*)). \quad (23)$$

Таким чином, буде виконана адаптація чи настроювання інформаційної системи оцінювання процесу обробки різнотипних даних в умовах невизначеності.

В роботі застосований спосіб адаптації, заснований на рішенні задачі оптимізації з використанням методу генетичного алгоритму.

Введемо обмеження, що існує еталонна вибірка із M пар експериментальних даних, які зв'язують входи $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ з виходом y залежності, що досліджується:

$$(X_r, y_r), (r = \overline{1, M}), \quad (24)$$

де $X_r = (x_{r,1}, x_{r,2}, \dots, x_{r,n})$ – вхідний вектор в r -ій парі і y – відповідний вихід.

Настроювання моделі представляє собою знаходження таких параметрів функцій відповідності термів вхідних змінних і вагових коефіцієнтів правил, які мінімізують відхилення між очікуваним і отриманим результатом на еталонній вибірці. Критерій близькості можна визначити різними способами.

Перший спосіб полягає у виборі як критерію настройки відсоток помилок класифікації на еталонній вибірці, яка використовується для навчання системи. Введемо наступні позначення:

P – вектор параметрів функцій відповідності термів вхідних і вихідної змінних;

W – вектор вагових коефіцієнтів правил бази знань;

$F(X_r, P, W)$ – результат виводу відповідно бази знань з параметрами (P, W) при значенні входів X_r .

Тоді настроювання нечіткої моделі зводиться до наступної задачі оптимізації: знайти такий вектор (P, W) , щоб:

$$\frac{1}{M} \sum_{r=1, M} \Delta_r \rightarrow \min, \quad (25)$$

де Δ_r – помилка класифікації стану обробки різнотипних даних X_r :

$$\Delta_r = \begin{cases} 1, \text{ якщо } y_r \neq F(X_r, P, W) \\ 0, \text{ якщо } y_r = F(X_r, P, W) \end{cases}. \quad (26)$$

Перевага критерію настроювання полягає в його простоті і ясній змістовній інтерпретації. Відсоток помилок широко використовується як критерій навчання різних систем розпізнавання образів.

Цільова функція задачі оптимізації приймає дискретні значення, що ускладнює використання градієнтних методів оптимізації. Особливо важко підібрати необхідні параметри градієнтних алгоритмів (наприклад, приріст аргументів для розрахунку часткових похідних) при настройці нечіткого класифікатора на невеликій вибірці даних.

Другий спосіб передбачає використання як критерію настройки відстань між результатом виводу у вигляді нечіткої множини $\left(\frac{\mu_{d_1}(x)}{d_1}, \frac{\mu_{d_2}(x)}{d_2}, \dots, \frac{\mu_{d_m}(x)}{d_m} \right)$ і значенням вихідної змінної в еталонній вибірці, яка призначена для навчання системи. Для цього вихідна змінна у еталонній вибірці (23) фазифікується наступним чином:

Задачі (26), (28) і (29) можуть бути розв'язані різними технологіями оптимізації, серед яких часто застосовується метод найшвидшого спуску, квазіньютонівські методи і генетичні алгоритми.

На змінні, якими управляють, зазвичай, накладають обмеження, що забезпечують лінійну упорядкованість елементів терм-множин. Крім того, ядра нечітких множин не повинні виходити за межі діапазонів зміни відповідних змінних. Це забезпечує прозорість, тобто змістовну інтерперабельність нечіткої бази знань після настроювання. Що стосується вектору W , то його координати повинні знаходитись в діапазоні $[305,306]$. Якщо до рівняння інтерперабельності бази знань пред'являються високі вимоги, то ваги правил не настроюють, залишаючи їх рівними 1. Можливим є і проміжний варіант, коли вагові коефіцієнти можуть приймати значення 0 і 1. В даному випадку нульове значення вагового коефіцієнту еквівалентно виключенню правила із нечіткої бази знань.

Параметри функцій відповідності і ваги правил можна настроювати одночасно або окремо. При настроюванні тільки ваг правил об'єм обчислень можна значно скоротити, так як функції належності $\mu_{jp}(x_i^*)$, не залежать від W . Для цього на початку оптимізації необхідно розрахувати ступені виконання правил при одиничних вагових коефіцієнтах $(w_{jp})=1$ для кожного об'єкта із еталонної вибірки:

$$g_{jp}(X_r) = \bigwedge_{i=1,n} \mu_{jp}(x_{r,i}), j = \overline{1,m}, p = \overline{1,k_j}, r = \overline{1,M}.$$

Для нових вагових коефіцієнтів функцій відповідності процесу обробки різнотипних даних в АСУ X_r класам d_j розраховуються так:

$$\mu_{d_j}(X_r) = \bigvee_{p=1,k_j} w_{jp} \cdot g_{jp}(X_r), j = \overline{1,m}.$$

Враховуючи специфіку процесу процесу обробки різнотипних даних в АСУ, одним із шляхів її вирішення на основі нечіткої логіки є застосування комбінованих методів оптимізації, які сполучають у собі переваги роботи градієнтного методу та методу випадкового пошуку. Одним з методів такого

типу є метод “генетичного алгоритму”, який дозволяє проводити оптимізацію для полімодальних, негладких та невивуклих функцій зі швидкістю збіжності більшою, ніж в методах випадкового пошуку .

Таким чином, враховуючи визначені особливості процесу обробки різнотипних даних в АСУ, ієрархічність дерева логічного висновку, структурно-семантичну модель обробки різнотипних даних в АСУ, процес настроювання інформаційної системи обробки різнотипних даних доцільно здійснювати диференційовано, тобто шляхом настройки нечіткої бази знань кожного окремого елемента системи АСУ.

Дослідимо можливості застосування та функціонування “генетичного алгоритму” для настроювання інформаційної системи оцінювання оперативної обстановки.

Будемо вважати відомими наступні вихідні дані:

S – вектор структури системи, який визначає параметри системи, що не змінюються під час оптимізації (стосовно інформаційної системи оцінювання оперативної обстановки – набір правил “ЯКЩО-ТО”, представлених за допомогою математичного апарату нечіткої логіки, та коефіцієнтів ваг правил);

B – вектор-еталон, який містить набір зразкових пар стимул-реакцій (вхідні показники - рішення), за якими налаштовується інформаційна система оцінювання оперативної обстановки;

W_{jp} – вектор ваг правил нечіткої бази знань, значення якого оптимізується;

F – функція невідповідності, що визначає якість рішення, яке пропонує інформаційна система оцінювання оперативної обстановки у порівнянні з рішенням у векторі - еталоні.

$F_{АСУ}$ – функція невідповідності, що визначає якість рішення, яке пропонує інформаційна система обробки різнотипних даних щодо окремого елемента АСУ у порівнянні з рішенням у векторі - еталоні.

Під прийняттям рішення інформаційною системою обробки різнотипних даних в АСУ будемо розуміти той вихідний результат, який видає система відповідно введених ознак $x_{11} \dots x_{nm}$.

Введемо наступні обмеження:

вектор B охоплює всю практично значиму область рішень на області застосування інформаційної системи обробки різнотипних даних в АСУ;

вектор S (правила “ЯКЩО – ТО”) сформований заздалегідь за результатами роботи з експертами та не містить логічних помилок;

за результатами роботи з експертами визначено значення параметрів функцій належності;

функція невідповідності – F розраховує помилку прийняття рішення інформаційною системою процесу обробки різнотипних даних в АСУ методом найменших квадратів з використанням порядкової шкали за формулою:

$$e_{ACV} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k (d_i^{B_j} - d_i^{O_j})^2, \quad (30)$$

де $e_{ДРВ}$ - помилка настроювання окремого елемента АСУ; n – розмірність вектору B ; k – максимальна кількість рішень, які видає інформаційна система обробки різнотипних даних в АСУ; $d_i^{B_j}$ - еталонне i -те рішення на j -ий вхідний елемент вектору B ; $d_i^{O_j}$ - i -те рішення інформаційної системи обробки різнотипних даних в АСУ на j -ий вхідний елемент вектору B з урахуванням ваг правил W_{jp} ; i – номер рішення, який видає інформаційна система оцінювання оперативної обстановки, $i \in \overline{1, k}$; j – номер набору вхідних показників в еталонному векторі B .

Для настроювання набору баз знань (НБЗ) окремого елемента системи АСУ запропонований критерій:

$$e_{ACV_min} = \text{Min}(F_{ACV}(S, W)), \quad (31)$$

де $e_{ДРВ\min}$ – мінімально допустима кінцева сумарна помилка, як різниця значень ФН рішення щодо стану функціонування окремого елемента системи АСУ та еталонного рішення.

В результаті використання критерію (30) для кожного окремого елемента АСУ логічним є використання критерію (31), що свідчить про настроювання інформаційної системи обробки різнотипних даних в АСУ в цілому.

$$e_{\Sigma \min} = \text{Min}(F(S, W)), \quad (32)$$

де $e_{\Sigma \min}$ – мінімально допустима кінцева сумарна помилка як різниця значень ФН рішення щодо стану функціонування системи управління та зв'язку елемента системи АСУ та еталонного рішення.

Настроювання ваг правил (W_{jp}) та параметрів функцій належності – вектору P проведемо за допомогою методу “генетичного алгоритму”.

Сукупність показників, які оптимізуються, об'єднуються у вектор параметрів, який має назву хромосома. Показники в хромосомі можуть зберігатись у звичайному та закодованому (перетвореному) вигляді. Окрема ділянка хромосоми, яка відповідає за кодування одного показника, має назву ген; довжина гену залежить від обраного типу кодування.

Кожна хромосома являє собою рішення задачі, яке оптимізується з ефективністю, що виражається певним числом, яке обчислюється за цільовою функцією. набір хромосом (сукупність рішень) називається популяція. В популяції підтримується постійна кількість хромосом. Основні етапи роботи методу генетичного алгоритму наведено на рис. 5.

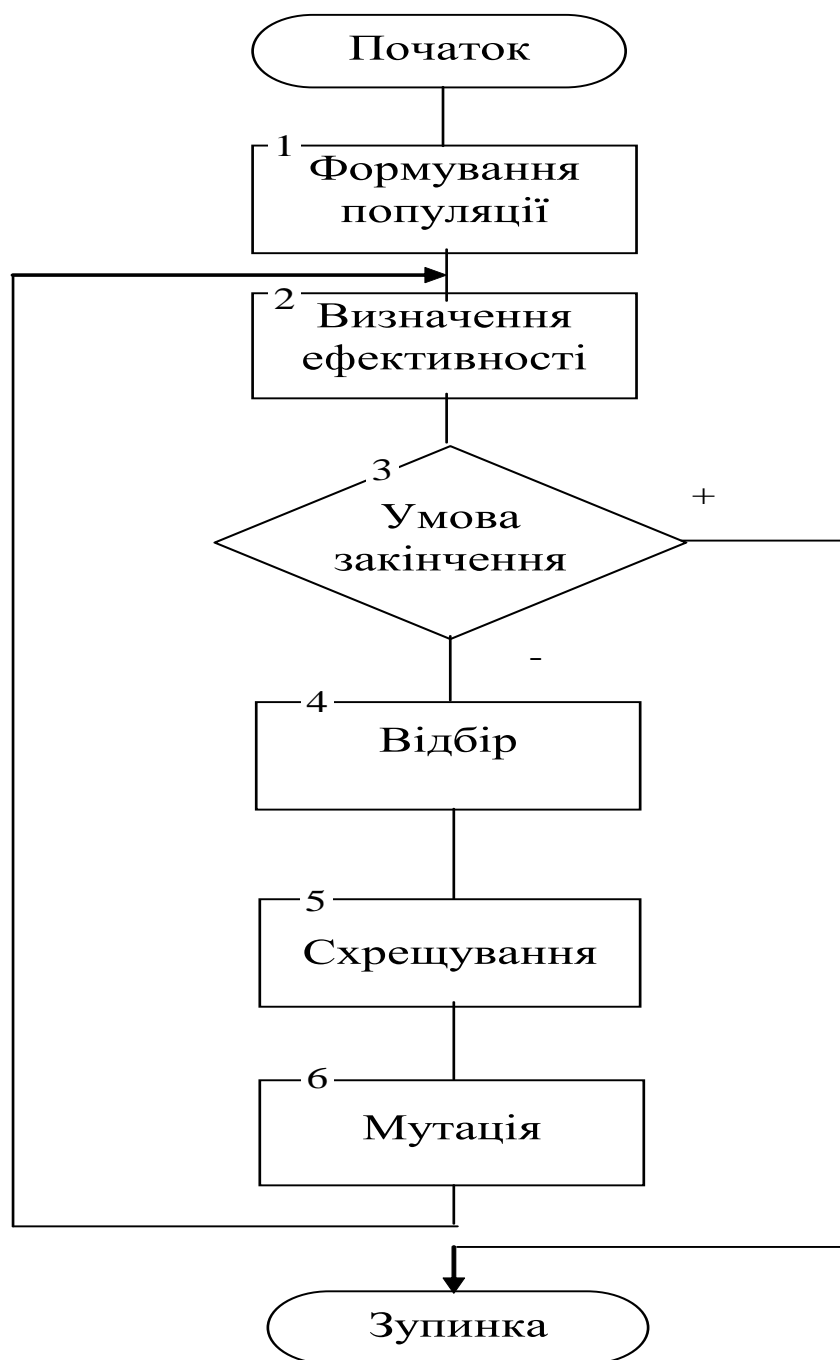


Рис. 5 – Схема роботи методу генетичного алгоритму настроювання

Формування початкової популяції залежить від підходу формування хромосом: настроювання вагових коефіцієнтів важливості обстановки; настроювання вагових коефіцієнтів пріоритетності логічних правил БЗ за якими приймаються рішення.

З метою зменшення об'єму масивів даних запропоновано формувати хромосоми де генами є вагові коефіцієнти логічних правил БЗ.

Формування початкової популяції. Вектор-еталон B сформований за результатами оцінювання оперативної обстановки в різних умовах функціонування елементів системи АСУ.

Визначимо ФН ознак функціонування елемента системи АСУ та рішень нечітким термам за формулою:

$$\mu^{d_j}(x_i) = \max_{p=1, l_j} \left\{ W_{jp} \min_{j=1, n} [\mu^{a_{jp}}(x_i)] \right\}. \quad (33)$$

Згенеруємо довільним чином ваги правил W_{jp} НБЗ в інтервалі від 0 до 1.

Визначимо ефективності хромосом. За цільовою функцією визначається: ефективність кожної хромосоми в популяції для кожного набору ваг W_{jp} , після чого проводиться сортування хромосом за зростанням (зменшенням) їх ефективності (формування ряду за величиною похибки).

Відбір. На цьому етапі відкидаються хромосоми з найменшою ефективністю, якщо загальна кількість хромосом в популяції більша за допустиму. Тобто об'єм обчислень, що здійснюється в алгоритмі, зберігається постійним незалежно від номеру ітерації.

Схрещування. З популяції з урахуванням ефективності випадково обираються дві хромосоми та, починаючи з випадкової позиції, обмінюються генами, позицій схрещування може бути й декілька. Якщо у просторі пошуку дві точки, визначені цими хромосомами, знаходяться в околі одного екстремуму, то середнє значення між цими точками, що є результатом схрещування, буде знаходитись ближче до екстремуму, тобто це у певній мірі аналогія градієнтного методу, а якщо дві точки, визначені цими хромосомами, знаходяться в околі різних екстремумів, то середнє значення між цими точками буде випадковим, тобто це аналогія методу випадкового пошуку.

Мутація. Повна аналогія до методу випадкового пошуку – в популяції випадково змінюється значення окремих генів, тобто положення точки пошуку в просторі пошуку.

Закінчення пошуку. Пошук завершується за умови, що протягом L ітерацій ефективність найкращої хромосоми збільшилась менше ніж на λ , інакше

починається нова ітерація. Окрему ітерацію називають поколінням. Наприклад, якщо найефективніша хромосома була знайдена у 30 поколінні, то умова закінчення алгоритму пошуку була виконана на 30 ітерації, а найкращу хромосому у кінцевій вибірці вважають оптимальним рішенням.

Таким чином, методику застосування генетичних алгоритмів настроювання інформаційної системи обробки різнотипних даних в АСУ зводиться до наступного алгоритму (рис. 6):

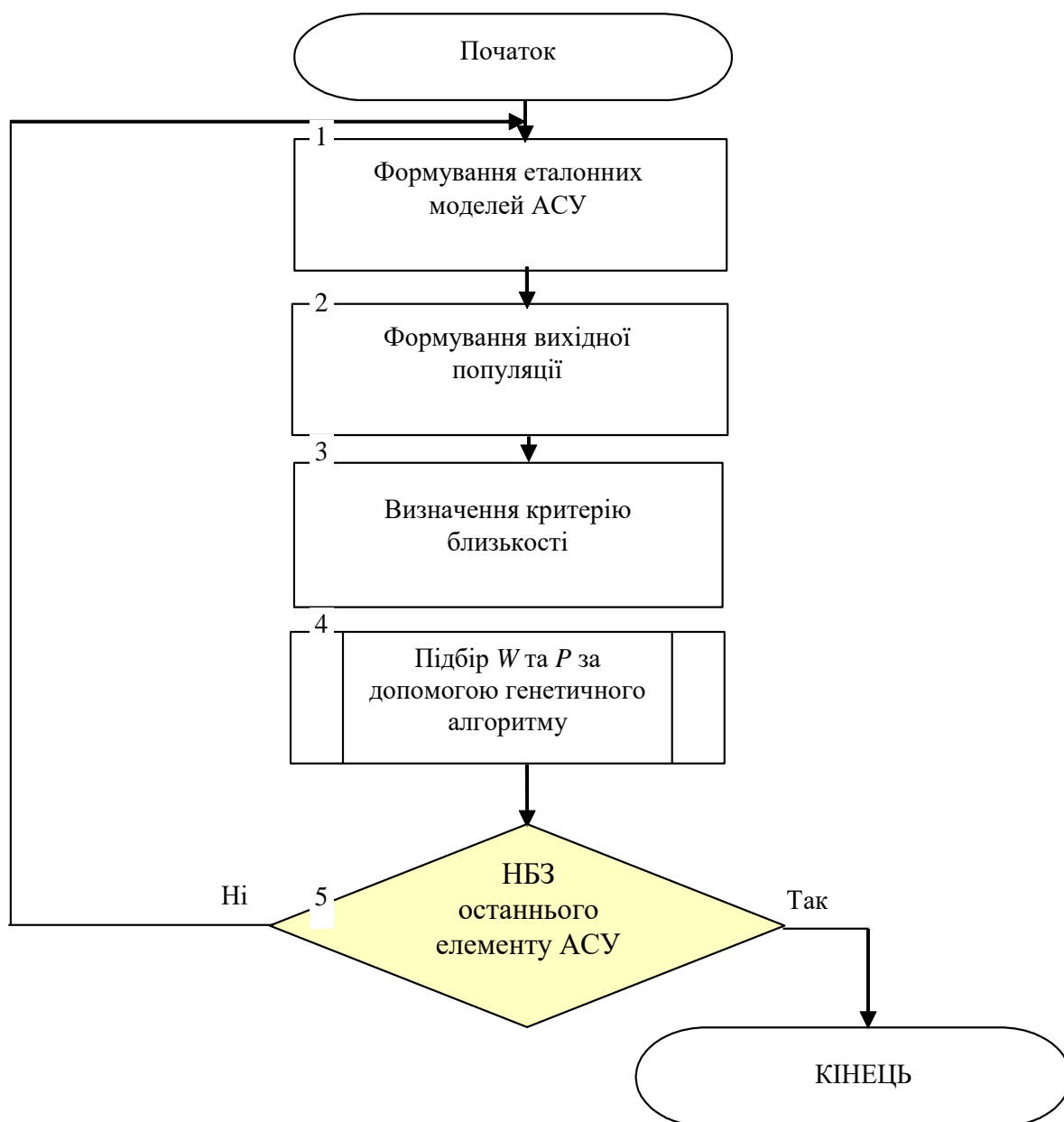


Рис. 6 – Алгоритм застосування ГА для настроювання інформаційної системи обробки різнотипних даних в АСУ

1. Формування еталонних станів процесу обробки різнотипних даних в АСУ.

2. Формування вихідної популяції.

3. Визначення критерію близькості настроювання нечіткого ідентифікатора.

4. Настроювання ваг продукційних правил НБЗ кожного елемента АСУ.

Формування початкової популяції. На

При розрахунку ваги правил НБЗ приймаємо рівними одиниці.

Генеруємо довільним чином ваги правил НБЗ в інтервалі від 0 до 1, тобто $W_{jp} \in [0,1]$. Оскільки правил у НБЗ 43 і кількість хромосом дорівнює 14 то необхідно сформувати двомірний масив 14×43 наборів ваг правил для настроювання інформаційної системи оцінювання оперативної обстановки. Набори ваг правил наведено в таблиці Ж.1.

За цільовою функцією визначається: ефективність кожної хромосоми в популяції для кожного набору ваг W_{jp} , після чого проводиться сортування хромосом за зростанням (зменшенням) їх ефективності.

Відбір. На цьому етапі відкидаються хромосоми з найменшою ефективністю, якщо загальна кількість хромосом в популяції більша за допустиму. Тобто об'єм обчислень, що здійснюється в алгоритмі, зберігається постійним незалежно від номеру ітерації.

Проводимо сортування хромосом з урахуванням їх ефективності:

$$\Delta_3, \Delta_9, \Delta_{12}, \Delta_{13}, \Delta_2, \Delta_4, \Delta_1, \Delta_{14}, \Delta_8, \Delta_7, \Delta_5, \Delta_{11}, \Delta_6, \Delta_{10}$$

Найбільшу ефективність, тобто найменшу помилку прийняття рішення, мають третя та дев'ята хромосоми, а найменшу ефективність, тобто найбільшу помилку прийняття рішення, мають шоста та десята хромосоми.

Схрещування. В даному випадку для операції схрещування в якості батьківських хромосом обрано хромосому №3 та хромосому №9. В свою чергу результат схрещування – хромосоми-нащадки записуються замість хромосоми №6 та хромосоми №10, відповідно.

Мутація. Над „десятою” хромосомою виконуємо операцію мутації і, якщо сума ваг перевищує одиницю, проводимо нормалізацію 0,15; 0,09; 0,08; 0,02; 0,2; 0,13; 0,07; 0,06; 0,16; 0,04.

Переходимо до розрахунку її ефективності. Отримуємо результат: $\Delta=1,1$, що значно краще ефективності двох попередніх хромосом, оптимізацію яких проводимо.

Закінчення пошуку.

Висновки

1. За результатами проведеного в дослідженні аналізу встановлено, що застосування нечітких графів та математичного апарату нечіткої логіки в задачах підтримки прийняття рішень розподілу даних та оцінювання процесу обробки різнотипних даних в різних умовах, в тому числі і в умовах невизначеності дозволяє здійснювати розподіл даних між елементами АСУ за важливістю елементів АСУ та кількості ознак в реальному масштабі часу.

2. Удосконалено методику раціонального розподілу даних за важливістю елементів АСУ та кількістю ознак в АСУ в умовах невизначеності, яка відрізняється від відомих комбінуванням математичного апарату теорії інформації, нечіткої логіки та експертного оцінювання, що дозволило виконати формалізацію ознак в єдиному просторі параметрів та за рахунок інтелектуалізації процесів обробки інформації.

Проведено кількісну оцінку ефективності запропонованої методики. Отримані результати цієї оцінки показали, що розподіл даних між елементами АСУ за важливістю та кількістю ознак за допомогою запропонованої методики дозволяє підвищити оперативність обробки даних та прийняти рішення, щодо стану процесу обробки різнотипних даних на 15-17%.

3. Удосконалена методика настроювання інформаційної системи оцінювання процесу обробки різнотипних даних в АСУ в умовах невизначеності на основі використання генетичного алгоритму в умовах невизначеності, де застосування інших методів обмежене у зв'язку з неможливістю варіювання

окремим ознаками при фіксованих значеннях інших показників, дозволило підвищити оперативність розробленої інформаційної системи оцінювання обробки різнотипних даних в АСУ.

Науковим результатом є удосконалення генетичного алгоритму диференційованого настроюванням нечіткої бази знань інформаційної системи оцінювання обробки різнотипних даних в АСУ на основі апостеріорних даних.

Проведено кількісну оцінку ефективності удосконаленої методики. Отримані результати цієї оцінки показали, що використання зазначеної методики дозволяє підвищити оперативності настроювання інформаційної системи обробки різнотипних даних в АСУ в умовах невизначеності.

SECTION 9. LIFE SAFETY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.9.1

9.1 Safety culture as a new principle of safety management

9.1.1. Personal and social safety culture: formation in educational institutions in modern conditions

9.1.1.1 Personal and social safety culture: basic concepts

The concept of personal and social culture is currently one of the central concepts in the integral study of occupational health and safety.

The study and definition of this issue characterises a person's aspiration for safe living in unstable social conditions, for reducing risks and hazards in various types of environment and for the rapid development of ensuring safe activities system. The works of Yu. Skaletskyi, L.O. Durnev, T.M. Tairova, V.I. Hnatovskyi, Y.L. Vorobiov, O.I. Zaporozhets, V.O. Mykhailyuk, N.V. Kulalaeva, M.O. Zorina and others have a significant value in the study of personal and social safety issues. An analysis of the above literature shows that a significant number of scientific works are devoted to the problem of personal and social safety in general. However, insufficient attention has been paid to the issue of personal and social safety culture. Recent studies show that the issue of forming knowledge on personal and social safety remains relevant. Especially against the backdrop of social, political and technological changes. This is the reason for the growth of the human factor in the emergence of uncertain situations in the human-environment system.

Taking into account a growing number of various accidents, catastrophes, natural and political disasters that cause high mortality, massive injuries and long-term disability, the issues of ensuring personal and social safety, protecting human life and health are becoming increasingly important.

For the development of modern industrial and social technologies, a high level of compliance with safety rules is not enough, as there is a need not only for knowledge, skills and abilities to ensure personal and social safety, but also for the safe

implementation of any type of activity, understanding the goals and consequences of one's actions for society and the environment. It means that the most important goal of the educational process in the field of safety is to form a person's thinking based on a deep understanding of the main principle - the unconditional priority of safety in solving any professional and personal problems. Therefore, there is a need to develop a special type of culture that takes into account the specifics of an activity and the culture of personal and social safety.

Culture, as a complex and multifaceted social phenomenon, permeates all spheres of human life and activity. It is the most important means of acquiring social experience and therefore provides the strategic direction of development to achieve the required level of society.

The concept of 'safety culture' first appeared in 1986 in the process of analysing the causes and consequences of the Chernobyl accident, conducted by the International Atomic Energy Agency (IAEA). It was recognised that the lack of a safety culture was one of the reasons for the tragedy [392].

Safety culture is a component of the overall culture which characterises the level of training in the field of personal and social safety and the conscious need to comply with the rules and regulations of safe behaviour.

Safety culture is a certain level of human and social development characterised by the importance of safety in the system of personal and social values. It is manifested in the prevalence of stereotypes of safe behaviour, the degree of protection against threats and dangers in all spheres of life.

The effectiveness of measures to ensure personal and social safety and reduce individual, collective and global risks depends to a large extent on people's value systems, motives for their behaviour, personal and professional qualities and abilities. As a component of the general culture, the culture of personal and social safety is aimed at a specific result - mandatory compliance with the norms of behaviour in society.

All of the above-mentioned is aimed at reducing or completely eliminating the likelihood of life-threatening conditions and factors. Accordingly, we can talk about three levels of safety culture. The meta-level refers to the culture of safety of a

mankind, civilisation, continent; the macro-level is related to the culture of safety of a society, state, region; the micro-level addresses the tasks of fostering a safety culture of an individual, family, small social group, etc.

Based on the analysis of domestic and foreign authors' work, it is possible to define the culture of personal and social safety as the ability to use knowledge and skills in practical activities. It can be argued that the culture of personal and social safety includes knowledge, worldview and, as a result, a safe type of behaviour.

Thus, it can be noted that the culture of personal and social safety includes:

- issues of ensuring personal safety, the safety of society and the environment;
- skills and abilities of safe behaviour; knowledge of ways and means of protection in dangerous and emergency situations,
- a set of ecological and environmental concepts that are the basis for reducing the risks of human life.

An essential factor is a person's preparedness, level of knowledge, skills and abilities. The depth and strength of mastering the ways and means of protection against hazards and emergencies, the development of skills and abilities to behave safely in different conditions are the basis for reducing the risks to people's lives.

The theoretical analysis has shown that the concept of 'culture of personal and social safety' does not have a single terminology. In the educational field, the definition of personal and social safety is seen as the formation of a culture of personal safety, the formation of a mass culture of safety and a culture of life safety [393]. In psychology, personal and social safety is considered in the context of the influence of personal factors on an individual level of injury and adaptation in the environment. Personal and social safety in technical environment is the knowledge of safe and comfortable human interaction with the technosphere. Safety of life in society includes protection of the interests of society and individuals from internal and external threats, prevention of social disorders, control over the degradation of social structures, ensuring maximum stability and normalisation of economic and political situation.

Considering the safety culture of human life in the context of the integral quality of a personality, it can be noted that integrity directs a person to develop motivation

for safety based on a set of professional and specific knowledge, continuous improvement of skills and abilities for the safe implementation of professional and social activities.

The society is faced with the contradictions between the increase in dangers resulting from the intensive activity and the lack of a culture of safe existence in society. The progressive decline in the scale of individual values of a healthy and long life and the need for a high level of health in modern conditions for family formation, professional career and material security is striking. It is due to changes in the structure of society, the priority of career choices and living conditions. Therefore, the problem of forming a culture of personal safety in different environments is becoming more relevant in society than ever. This problem requires the integrated research in pedagogy, psychology, culture, and safety of an individual's life [394].

9.1.1.2 The main structural components of personal and social safety culture

There is a great number of definitions of the 'culture' concept. It is a complex, multilevel, multifunctional system that absorbs and reflects the contradictions of the whole world: between specialisation and individualisation, between normativity of culture and freedom, between traditional culture and renewal. Components of culture are: worldview base, system of values; traditions, stable rules of behaviour of society members; spiritual, intellectual and material results of people's activities in the field of safety [395,396]. Culture is formed in various types of activities, including activities aimed at forming a culture of personal safety. The culture of human life safety is part of the general culture and is connected with the personality in general. The culture of safety appears as a new education. It influences the formation of personality, as it includes natural, philosophical, moral, political, legal, aesthetic, professional and other aspects of ensuring the safety of life.

In the late 1990s and at the beginning of the XXI century, there was an understanding that the effectiveness of measures to ensure the safety of life, to reduce individual, social and global risks depends to a decisive degree on the value attitudes

of people, the motives of their behaviour, personal and professional qualities and abilities [397].

There are the following criteria for the formation of a culture of personal safety in the course of life:

- cognitive,
- procedural,
- emotional and motivational,
- psychological comfort of relationships;
- effective and practical [397]

Personal and social safety also has a number of specific tasks, the main ones being:

- identification of threats, recognition and analysis of negative environmental impacts;
- preventing the impact of certain negative factors on a person;
- protection from danger;
- elimination of negative consequences of hazardous and threatening factors;
- formation of a favourable state of the environment [398].

Literature sources describing the structure of human life safety culture distinguish the following components:

- activity as the basis of safety culture structure (motivation, knowledge, skills, etc.);
- personal qualities of a person in the structure of safety culture (value orientations, personal meanings, etc.);
- components of basic personality culture as the main content of safety culture (moral, aesthetic, environmental culture, etc.) [399].

Taking into account the structure of activity, the content of life safety culture in terms of the parameter ‘activity components’ includes motives, knowledge, ideas, images, skills, practical experience, creative experience, self-control. Accordingly, the content of safety culture education includes motivational (motives, aspirations,

interests), substantive (knowledge, ideas), operational (skills and abilities), creative (experience of creativity) and control-regulatory (experience of self-control in dangerous situations) components.

Motivation means the desire to anticipate and prevent harmful and dangerous factors, to overcome them with the least possible losses. to reduce the negative effects of harmful and dangerous factors. Motivation includes a person's desire to acquire systematic knowledge about safety, to improve practical experience, personal qualities for safe life, creative independent application of safety rules and regulations, and readiness for self-control in uncertain situations.

Knowledge, perceptions, images in the structure of safety culture is a system of reliable scientific knowledge about the types of harmful and dangerous factors of life, their causes, the nature of their impact on a person, typical mistakes of people in contact with dangerous and harmful factors, the content and sequence of actions in preventing and overcoming harmful and dangerous factors, the ways to reduce the negative effects of harmful and dangerous factors.

Skills, abilities and practical experience in this structure include the following abilities:

- to set a goal of self-improvement and preparedness for safe life;
- to update knowledge about danger and safety;
- to foresee and prevent the impact of harmful and dangerous factors;
- to notice danger and the possibility of harm;
- to use means taking into account the nature of a danger;
- to reduce the negative effects of harmful and dangerous factors;
- to provide various types of assistance in dangerous situations;
- to learn from the experience of others in ensuring safety;
- to share experience of safe behaviour.

Creativity is considered as the experience of independent analysis of dangerous situations contradictions, combining new safety measures with the familiar ones, taking into account specific conditions, developing fundamentally new approaches,

strategies and means of safe behaviour. A person's creative abilities can be an indicator of readiness for non-standard solutions to cognitive and practical safety problems in dangerous and extreme situations.

Self-control as one of the most important components of safety system includes: an adequate step-by-step and prognostic self-control in preventing and overcoming harmful and dangerous factors, an ability to learn from mistakes and to gain experience of how to behave in dangerous situations.

In the course of any activity, the process of improving a person's readiness for safe life is based on the assignment of various elements of safety culture. [400] The content of security culture education of an individual includes value orientations, personal meanings, abilities, views and beliefs, personal qualities.

The content of human security culture is also considered in terms of personality qualities. Qualities are understood as psychological characteristics of a person. These are temperament, character (traits), will, emotional sphere, human abilities, etc. Some of them, for example, temperament, indicators of some cognitive processes are genetically determined and can change slightly under the influence of social environment. Others are shaped by the social environment and depend on both individual and collective social experience. These are character traits, will, emotional mood, physical condition, etc.

Let's consider the following personality traits:

- value orientations,
- personal meanings,
- abilities,
- views and beliefs,
- character.

Value orientations are the awareness of the priorities of ensuring personal safety, safety of other people, society and nature. The ideal is a perfect person prepared for safe living. The priority is human life and health over other values (economic, political, etc.) [401].

Personal meanings are the understanding that a person is independent, self-reliant, and free by his or her nature. The meaning of life is in self-realisation, which includes the development of readiness for safe life, increasing the safety of society and nature [402].

Aptitude (talent) is the ability to set goals in the field of safety, self-improvement of readiness for harmful and dangerous factors of life, self-control in dangerous and extreme situations, stress resistance, ability to maintain and restore strength and performance in dangerous and extreme situations [403].

In this case, attitudes and beliefs are presented as an element of the worldview that gives an individual or social group confidence in their views on safety and safe activities, knowledge and assessments of reality, dangers and threats. In contrast to suggestion, attitudes and beliefs are based on a person's informed acceptance of any information at the time of, before or after a dangerous situation. Formation of attitudes and beliefs in the culture of personal and social safety requires a lot of time and the use of various information, including one's personal experience in the past.

Character is one of the components of a personality, a unique set of properties of the psyche that determines the attitude to the world around him(her), the way he(he) reacts to the events and interacts with other people.

Thus, the content of safety culture contains priority areas of the basic culture of an individual, which include worldview, moral and psychological culture.

Therefore, the structure of personal and social safety culture should be considered as a unity of personal (values, motives, personal qualities) and activity (knowledge, skills, experience) components.

One of the main factors of safety is the activity of an individual based on his knowledge of the safety of society and other components of the environment. With basic knowledge, most of the impact of harmful and dangerous environmental factors can be prevented. Accidental impacts, which are almost impossible to prevent, should be treated as one of the components of human life.

In general, the formation of safety culture in all spheres of activity becomes a guarantee of the readiness of each person to live safely. Understanding the structural

components of safety culture and their interrelations makes it possible to develop the most effective methods of forming a culture of personal and social safety.

The goal of personal and social safety culture is safety itself, which is achieved as a comprehensive combination of material and technical, economic, civil, legal and other aspects of human life. The culture of personal and social safety is a component of general culture. Therefore, the fundamental properties of the general culture are inherent in the culture of personal and social safety.

The culture of personal and social safety consists of the substantive results of human activity and the knowledge, skills and abilities implemented in the course of their functioning, as well as the levels of development, methods and forms of communication [399] The culture of personal and social safety includes worldview ideas, various values, intellectual experience in solving various problems, experience of safe communication among people in their joint survival, etc.

A number of researchers distinguish three structural levels of personal and social safety culture: individual, collective and societal and state level [399].

The constituent elements of personal and social safety culture are: at the individual level - worldview, behavioural norms, individual values and preparedness of a person in personal and social safety culture. At the collective level - corporate values, professional ethics and morality, and personnel preparedness in this area. At the societal and state level - traditions of safe behaviour, social values, preparedness of the entire population in personal and social safety culture.

At the individual level, the following actions take place as part of personal and social safety culture:

1. Instilling values and beliefs in the vital importance of ensuring the safety of others.
2. Preservation and conservation of the environment.
3. Developing the existing understanding of the global nature of negative changes in the world that are related to anthropogenic activities.

4. Establishment of a worldview where the importance of solving environmental problems, as well as problems of countering terrorism and extremist activities, will be a priority.

5. Motivating safe activities and favourable living conditions.

6. Improvement of innate and development of vital abilities that provide the ability to reliably prevent and protect against various external and internal threats and dangers.

7. Imparting knowledge, skills and abilities to ensure safety in all sectors and areas of activity.

8. Compliance with the rules of safe behaviour in different conditions and situations.

At the collective level, the development of personal and social safety culture should include:

- establishing personal and social safety as one of the highest values of the organisation;
- creating an atmosphere of psychological safety mindset;
- development of professional responsibility in safety issues;
- conducting the necessary education and training of personnel in each area of activity affecting safety;
- moral and material incentives for personnel aimed at reducing the risks of dangerous situations and situations of uncertainty;
- clear regulation of actions, especially those related to high risks; control over compliance with labour discipline.

At the societal and state level, the development of personal and social safety culture should comprise:

- formation of a system of social values and priorities;
- social consciousness in the field of personal and social safety;
- development of the regulatory and legal framework and mechanisms to ensure safety;

- implementation of a policy to ensure the safety of society and individuals;
- reducing risks and protecting against emergencies.

The culture of personal and social safety, as a component of education, consists of knowledge, skills, abilities, norms and rules, the main function of which is to develop readiness to prevent and minimise harmful and threatening factors.

As a component of the general culture, the culture of personal and social safety includes some social processes. The main ones are as follows:

1. Material products of human activity. Their special purpose is aimed at preventing injuries, illnesses and damage to people and society. The main function of these products is to prevent and overcome the negative impact of hazardous factors on a person.

2. Social institutions whose main task is to ensure the safety of people and society. These institutions include: fire protection, units of the Ministry of Emergency Situations, emergency gas service, etc;

3. Forms of organisation of people's life, their relationships, whose task is to ensure individual and collective safety.

4. Embodiment of safety culture in the life of professionals and members of public organisations.

5. Branches of scientific knowledge that summarise and study the laws of safe personal and social life, as well as knowledge that captures the basic laws and rules of safe life. The results of the scientific study of the rules and patterns of personal and social safety are recorded using signs, symbols, graphics, text, etc.

It should be borne in mind that the culture of personal safety includes a number of additional components that are formed in the process of information and psychological influence. It is not only safe living, but also motivation, experience of self-improvement and readiness for safe living. Therefore, the concept of 'security culture' in relation to a person is broader than the concept of 'personal and social safety' (of a person).

Thus, safe human activity, which is formed by means of information and psychological influence, is the main component of the personal embodiment of safety

culture. Only through the education system, through fostering a culture of safety, it is possible to cultivate the ability to value one's life, which is closely linked to the lives of others.

Summarising the above, the culture of personal and social safety is understood as a complex of knowledge, traditions, ideals that ensure the self-preservation of a person, society and their development. The culture of personal and social safety is aimed to integrate experience, knowledge, skills, types of organisation related to safety, which are passed down from generation to generation, from person to person, from one society to another. The combination of the concepts of 'culture' and 'safety' concretises the cultural in the whole content of social life and is the life-sustaining foundation of society. The conceptualisation of these spaces within individual sciences structures the spheres of human presence and creates safe conditions for the life of an individual as a whole.

9.1.1.3 Formation of safety culture in educational institutions (in modern conditions)

One of the most effective ways to achieve a safe society is to develop and shape a culture of personal safety in life and at work by means of the educational process.

A necessary condition for the existence of human society is human life. Human life covers practical, intellectual and spiritual processes occurring in everyday life, public, cultural, professional, scientific and other spheres of life. The model of the process of life in the most simplified form is a component of two elements: human and environment. These elements are related to the constant bilateral exchange between the flows of substances, energy and information. In the "person - environment" system, it is planned to achieve two goals at the same time: the first goal is to achieve a certain effect in the process of activity; The second is to exclude the undesirable consequences of this activity. That is, the environment can be considered from two opposite sides. On the one hand, the safe condition of a person requires the stability of all factors of the environment, on the other - human life is impossible without the negative impact on the factors of the environment. A prerequisite for the formation of a culture of life

is to teach safe methods of interaction between man and environment. The formation of a safety culture aims to base on the following aspects:

- formation of a system of special knowledge on safe life;
- formation of a system of knowledge about psychological components of safe life.

The need for special purposeful formation of life culture is related to the active development and introduction of new technologies, a high technogenic load on the environment and a person, the spread of new types of dangers. Education, vocational training and continuous education, in the process of which a person should be aware of the need to be part of the system of safe life, are critical. [404]

The category "Culture of personal and social safety" is the subject of interdisciplinary study. By this time, three approaches have emerged on the issue of justification of the category "Culture of Safety of Life": socio-philosophical, psychological and pedagogical.

Within the framework of the socio-philosophical approach of scientists "Culture of personal and social safety " is understood as ".. The process and result of overcoming danger for the cultural life of society" [405]. Such dangers include: deformation of traditional norms and values of spirituality; uncontrolled expansion of low quality samples of mass culture; lifting of the conscious and the post -fountain of cultural heritage objects, etc. [405].

The proponents of the psychological approach state that cultural personal and social safety "means complex multidimensional psychological activity in the direction of change of younger generation of certain representations on the formation of competence of personal and social safety" [406].. The competence includes:

- willingness to ensure safety in the occurrence of risks and threats and is based on the knowledge about the psychological features of each age period of younger generation [407];
- socio-psychological characteristics of an individual, which expresses the attitude to the issues of ensuring a safe life and activity; motivational-value sphere and is realized in behavior [408].

In the context of pedagogical approach, the culture of personal and social safety is considered as a complex integral property of personality, components that act as an interconnected set liquidation, responsible for their life and life of others [409].

At the heart of all basic approaches is an understanding of the culture of personal and social safety through the prism of the triad of its elements in accordance with certain levels [399]:

- at the personal level: outlook, norms of behavior, personal values and preparedness of a person in the field of personal and social safety;
- at the collective level: values, ethics and morality, preparedness in the specified field;
- at the social and state level: traditions of safe behavior, social values, preparedness of the entire population in the field of personal and social safety.

Issues of personal and social safety culture and pedagogical practices of its formation are constantly in the focus of attention of educational institutions. It is an educational institution that should form the basis of competencies of safe life in society and form a motivation for safe activity.

A detailed study of the research on this issue [405] allowed us to mark two groups of principles of formation of personal and social safety culture in educational institutions - general and specific. The general principles are classified in:

- legality: legitimacy of activity;
- democracy: harmonization of interests of all participants of education (teachers, students, parents);
- close interaction with different security bodies and their employees in order to actively involve them in the educational process;
- continuity: continuous purposeful work on the formation of safety culture;
- planning and control. Purposeful pedagogical influences should be carefully planned and have a clear schedule;

– Scientific and information support. Pedagogical activity should be based on a scientific and organizational basis and modern ideas about risks, threats, dangerous life situations taking into account urgent information.

A group of specific principles contains the rules of:

- accessibility: the proposed material and its complexity must correspond to the age of the students and be provided in the optimal amount of information;
- combining theoretical material with a practical-oriented component. It will contribute to its best perception;
- positive orientation: focusing on positive in terms of personal and social safety, their favorable influence on personal safety;
- sequence: adherence to a certain algorithm, gradual pedagogical activity, logical availability of information;
- systematic: ensuring the constant assimilation of relevant knowledge in the form of a holistic system;
- consciousness and activity: stimulating students' activity in personal safety in everyday life. The main condition is the awareness of responsibility for your own health and safety.

In the context of human existence factors in modern society, the main directions of pedagogical influences regarding the formation of students' safety culture in students in educational institutions are distinguished. These are the following:

1. Formation of demographic safety:

- education of serious attitude to one's own life, health, physical, spiritual, intellectual development and improvement;
- prevention of negative phenomena;
- counteracting the spread of crime, deviant behavior, asocial manifestations.

2. Formation of information security. The main purpose is to counteract the negative influences of the mass media and the Internet on individual and public consciousness and psyche, the development of skills of competent orientation in the

information environment, maintaining constant readiness for adequate measures in information confrontation.

3. Formation of environmental safety. Education of norms to ensure the protection of vital interests of an individual, society, the environment from possible threats and risks due to the anthropogenic or natural impact on the environment.

4. Formation of technical safety through the development of safe use of technical means, formation of knowledge about the possible consequences of negligent treatment of technical devices and ways of elimination of dangerous and emergencies.

5. Formation of legal security through education of legal competence on life safety, readiness for legal assessment of threats, risks and events, constructing behavior in accordance with the current legislation and established legal rules.

6. Formation of psychological safety through the development of protection against all forms of discrimination, aggression, confrontation of psycho -emotional pressure.

Therefore, the search for effective means of forming personal and social safety culture is one of the most important problems of modern pedagogical science and practice.

Education and upbringing should be built on the basis of safety culture. Education in the field of safety is carried out throughout the life of a person. Modern society requires the formation of safety culture based on the application of scientific approaches and systematic inclusion of security issues to education and upbringing. The formation of a new safety culture, which is based on increasing the degree of development of an individual and society, is possible as a result of the transformation of society consciousness. At the same time, education should have a predetermined nature, which allows the society to move from the priority of protection in the current situations to the priority of preventing these situations, to eliminate the causes of threats, to ensure the safety of life.

The main tasks of education and upbringing in the field of safety are:

– for preschool children - instilling standards of safe behavior in the surrounding environment;

- for students of general institutions - formation of a responsible attitude to their own safety and safety of others; formation of environmental consciousness, awareness of the priority of safety in all areas of activity;
- for students of primary vocational education institutions - to form an understanding of the need to ensure safe conditions in a profession; compliance with environmental standards;
- for students of secondary and higher professional education institutions - development of the ability to make competent (from the point of view of safety) decisions in management of production, education, organization of team activities, formation of professionally significant characteristics;
- for older generations employed in the fields of production and service - formation of conscious implementation of norms and rules of labor and technological discipline;
- for non -working population - forming a responsible attitude to their own safety, security of society.

Safety culture is most favorable for students. It is easier to encourage them to obey the rules and norms of safe behavior, which will eventually serve as the basis of safe life. The development of self -awareness, personal self -determination, formation of personal position, professional orientation and determination of their social status are the main features of educational institutions` students [410].

Some components of students' safety culture should be distinguished:

1. Motivational and Value. Education of value attitude to a healthy lifestyle; development of the need for safe life; formation of positive motivation of safe life in students.
2. Cognitive. Mastering the basic concepts, definitions and terms by students; formation of optimal options for existing emergencies; mastering research methods for life.
3. Operational activity. Education of conscious adherence to a healthy lifestyle; formation of practical skills and skills of getting out of difficult situations; formation

of the ability to live safe and skills in owning health -saving technologies; control and self -control of the safety culture process.

In order to achieve the goal in shaping the safety culture of students, the following tasks should be determined:

1. Continuous maintaining interest in life safety and labor protection.
2. Education of conscious attitude to safety.
3. Formation of ecocentric consciousness.
4. Implementation of new security facilities.
5. Search and use of modern means of occupational safety and safety in the educational process.
6. Creating safe working conditions and training.

Thus, the culture of safety is an important integral block of the general culture of a man and society in the social conditions of the 21st century. Security culture is integrally related to social management, national security, education systems. Therefore, the formation of this block of knowledge should be constant purposeful, to be carried out taking into account the principles of philosophy of education and to be introduced in the education system. Of particular importance is the degree of mastering the necessary knowledge of safety at the appropriate levels of training. The main ones include the knowledge of the concepts of culture of personal safety and safety in the fields of social relations, in the technosphere, natural-anthropogenic and natural spheres; understanding of theoretical and practical ways of optimizing the life of socio-natural systems; knowledge about the world dangers, the ways how to protect from them; skills to restore life after emergencies and catastrophes. It is the meaning of the concept of "security culture". The key links in the formation of safety culture are: upbringing and education in continuous learning systems with the constant interaction of theory and practice of education in the sphere of safety culture and socialization of subjects` lives; continuous information and ideological work that supports and develops a healthy ideological environment as a set of vital ideas optimization oof coexistence of a man, society and nature.

9.1.1.4 Pedagogical aspect of forming a safety of activity

The determination of the degree of development of safety culture problems formation indicates a non-compliance of professional safety knowledge with the actual achievement of safety level. While forming the strategy of overcoming the causes of safety training inefficiency, the following disadvantages have been found:

- isolation of the principles of training on safety from the principles of performing the professional algorithm;
- inconsistency of tasks on operations safety with the possibility to use it;
- insufficient financial support of measures to ensure the safety of operations;
- non-use of stimulating systems of training in safety of operations;
- lack of a clear system of responsibility for failure to meet safety requirements and to apply liability measures;
- low level of labor and industrial discipline;
- insufficient level of knowledge in the field of safety among workers' and lack of managers competence in issues of safety;
- low level of control over safety efficiency, etc.

Currently, due to the widespread development of mass media, the overall problem is that the amount of knowledge acquired by future experts is superficial, quite large. This puts special requirements for the content and organization of their cognitive activity. Therefore, for the successful formation of professional knowledge and skills in any sphere, it is necessary to rely on the existing knowledge of students, activating their cognitive activity. Of particular importance is the fulfillment of this condition in the formation of knowledge in the field of professional training and formation of safety culture in any profession. For the performance of professional functions, first of all, the acquired knowledge must be systematized, have a practical orientation in order to ensure the personal safety of a specialist.

The issues of safety culture education are reflected in the works of leading scientists, in particular V.V. Beguna, V.M. Pllatinsky, OV Kobylyansky, Acting Mikhailuk, I.M. Naumenko, LA Sidorchuk, B.D. Khalmradov and others. The analysis

of literary sources indicates that the links between courses and various disciplines in the system of knowledge when teaching safety disciplines are not fully used. This adversely affects the formation of knowledge and skills in the culture of safety of future specialists.

A general occupational safety system is provided to protect a person from professional dangers. This system includes a complex of means of influencing the profession and professional activity of a person aimed at preventing traumatism factors.

The overall safety of professional activity is ensured by a three -level security system:

1. The first level is a person's level.

There are four factors that determine a person's ability to counteract the danger in profession:

1. A purely biological factor consisting of the natural properties of a person caused by unconscious regulation. A complex of unconditional reflexes with the help of which a person unconsciously responds to different dangers. For example, in the case of impaired optimal environmental conditions in a human body, there are appropriate reactions that are created to compensate for harmful effects and adapted to the new environmental conditions.

2. A factor that determines the individual features of mental reflection and functions of a person. The determining reaction of a person can be:

- psychophysiological qualities and psychological state;
- sensitivity to danger signals;
- identification of a hazardous situation;
- ability to detect dangers;
- respond to these signals;
- emotional reactions;
- adequacy of the reaction, which depends on the individual characteristics

and structure of the CNS.

3. A factor that arises from a person's experience, skills, knowledge, abilities. It includes professional qualities of a person, ability to safely resolve the problem.

4. A factor that characterizes a person's orientation in the profession. It includes motivation for safety in the profession.

A person is a complex self-organizing system, capable of using his capabilities, depending on the situation, to achieve the desired result at minimal risk. For example, if a person has low biological qualities to counteract hazards, he or she can compensate for this by developing professional skills and high motivation for workplace safety. And vice versa. If a person has high biophysiological and professional qualities to counteract danger, due to low motivation to work, he or she may be poorly protected from danger.

2. Professional factors.

The profession is always regarded as a comprehensive source of danger. Among the various types of activity, there are high-risk occupations. Dividing the professions into high and low risk categories, it should be noted that accidents, as experience shows, most often occur when working with low risk. It can be explained by a number of reasons. First of all, only persons who have special safety training are allowed to work with high risk. Secondly, more advanced protective equipment is used in such work. Thirdly, there are significantly fewer hazardous jobs than ordinary ones. Fourthly, the high cost of making a mistake when working with high risk makes an employee take his job more seriously.

3. Occupational Safety.

Occupational Safety System is intended to solve three main tasks:

1. To reduce occupational hazards. It is assumed that occupational safety should be incorporated into the design of equipment and working conditions.

2. To promote human protection at work, to protect a person from harmful professional factors or to reduce their level of influence. To protect a person from harmful occupational factors or reduce the level of their impact, special mechanisms are built into technical devices that perform the functions of protective equipment. There is one serious requirement for all protective equipment: while performing their protective functions, they must not interfere with the performance of the main professional algorithm.

Therefore, the use of protective equipment should be integrated into the work process and not be an “add-on” to work operations.

Personal protective equipment, unlike stationary equipment, is not provided to machines, but to the person working directly. Personal protective equipment includes helmets, goggles and protective clothing. Moreover, while stationary means are devices, personal protective equipment is in full contact with a person, limiting to some extent and sometimes restricting his or her actions. Therefore, the development of personal protective equipment that would protect a worker, not only interfere, but also facilitate the main labour process is the most difficult psychological and technological problem of occupational safety. An example of personal protective equipment that is part of the labour process is safety glasses with corrective glass. By improving vision, such glasses contribute to greater work efficiency and at the same time protect the eyes from the effects of hazardous production factors.

3. Training in a safe professional algorithm. development and implementation of labour safety rules, training of employees, control of knowledge and compliance with these rules, formation of a culture of safe professional activity at different levels of the professional algorithm.

In the course of employment, an employee has to comply with professional rules, i.e. the relevant restrictions imposed on him/her by the production process. These restrictions are usually accepted by an employee as an objective necessity, without which the purpose of his or her work cannot be achieved. Safety rules impose additional restrictions on them. When these restrictions are insignificant or coincide with the limitations of the production process, they do not create additional difficulties for a person. However, more often, safety rules have their own additional restrictions, which to some extent complicate the implementation of a professional algorithm. Therefore, it is very important that vocational training is carried out taking into account both the rules of the production process and the basics of safety in the profession. This results in the simultaneous development of skills to perform a professional algorithm, mastery of safety rules in the profession, and the formation of a personal safety culture.

Thus, the occupational safety system, by influencing a person, contributes, on the one hand, to improving skills for safe work, motivation for safe work and the formation of a safety culture, and, on the other hand, provides a person with rules and individual protective equipment, thus further enhancing his or her protection. The interaction of all three subsystems considered (a person, occupational factors and occupational safety system) is the basis for the actual level of personal safety in professional activities.

The content of education in a higher education institution is a category that is conditioned by the needs of society and production and is reflected in the requirements of society to the system of knowledge, skills, worldview and professionally important personal qualities of specialists [411].

If a general understanding of the components of the safety culture of a future specialist's activity implies the presence in its structure of culture, professional culture and specific knowledge, skills and abilities that constitute the safety of the acquired profession, then in modern conditions, an important component of it is the performance of organisational and managerial functions. In recent years, the socio-technical factor has become particularly important in the formation of a safety culture, with the main focus not only on the technical components of profession, but also on the human factor, i.e. the content and nature of human activity, its value, social and psychological aspects.

The problem of occupational safety culture is now becoming one of the central issues in a comprehensive study of occupational safety components. Its solution reflects a person's desire to work safely in a dynamic society, to avoid risks and hazards in social and professional systems, to develop an effective occupational safety system and to continuously improve skills in managing it. Recent studies show that the issue of developing knowledge of occupational safety culture remains relevant [412]. Especially against the background of computerization of production, which is the reason for the growth of the man-made factor in the emergence of special professional situations. It should be noted that in the context of reforming higher education, the culture of safety should be formed and developed in a specially organized educational and pedagogical activity. Namely, a rational combination of innovative forms and

methods of teaching with traditional ones, a comprehensive combination of general and special disciplines, solving organisational, technical, educational and methodological issues, etc.

The content of education in a higher education institution is a category that is conditioned by the needs of society and production and is reflected in the requirements of society to the system of knowledge, skills, worldview and professionally important personal qualities of specialists [412]. Today, it is of particular relevance to develop in future specialists an understanding of not only the main aspects of safety but also the acquiring of sustainable skills in safe working practices and the formation of a safety culture at all levels of production algorithm. It is important to show the connection between this area and the general ways of solving professional problems: technical, social and economic. The occupational safety system takes an important place in the structure of professional activity. It must be present in any of its components: social, psychological, technical, organisational and scientific. Therefore, it is necessary to develop in future specialists an understanding of a personality, his life and health as the highest values. This task is becoming complex and should be implemented not only in professional training while learning the specialized disciplines, but also in the study of safe work principles [394].

The need to improve safety training methods for future specialists appeared due to the fact that in recent years there has been a noticeable decrease in the permissible level of hazards and harmful loads in various industrial sectors of Ukraine, i.e. there is a reorientation in the values and assessments of modern society, primarily in relation to the human factor.

One of the important components of occupational safety culture is the development of knowledge on the safety of professional activities. The formation of knowledge should be based on the following aspects:

- 1) general and specialised disciplines should have a close connection with the elements of occupational safety disciplines;
- 2) teaching special courses on occupational safety.

The achievement of specific results of knowledge formation is the development and implementation of special courses in training future specialists that will ensure high competence of professionals in the field of occupational safety.

Formation of the knowledge system in this way will make it possible to provide systematic methods of creating and maintaining occupational safety and will allow to separate the essence of the safety area from the content of other disciplines and to determine the links between disciplines [411].

It should also be noted that the specialized knowledge of occupational safety is possible only if specialists are familiar with the issues related to the regulatory and legal documents on occupational safety as well as occupational safety terminology and are aware of the current state of problems and the main tasks of preventing special occupational situations.

The organisation of learning the principles of occupational safety is based on the social need to create safe conditions for human life and activity. The acquired knowledge on occupational safety should have a clear practical orientation, promote the ability to make a quick and correct decision regarding the situation and the most appropriate response to the occurrence of standard and especially non-standard production situations. These modern requirements set a number of goals and objectives for the development of safety skills and safety culture in specialists training, such as:

- 1) forming an awareness of the importance of occupational safety disciplines;
- 2) providing in-depth knowledge of the regulatory and legal framework for occupational safety, including the organisation and management of occupational safety at all levels and stages of professional algorithm;
- 3) formation of knowledge about the principles, methods and means of ensuring occupational safety and the ability to find reasonable optimal organizational, managerial and technical solutions for each specific case, deeply understanding the essence of the proposed solutions and their possible consequences;
- 4) development of knowledge and skills to predict and assess possible economic, social and environmental consequences of decisions, giving preference to moral and ethical requirements [394].

The formation of safety culture, professional training on safety issues in modern conditions, creation and maintenance of safe working conditions are possible if the following requirements are met: all specialists have a sufficient level of knowledge, skills and abilities on occupational safety issues.

Professional training is an important component of safety culture formation. The professional training of a safety specialist includes: professional orientation, professional selection and training in safe working practices. Professional orientation is a system of forms, methods, measures of influence on students, employment of persons who have consciously chosen a type of labour activity. An essential component of vocational guidance is the rational placement and efficient use of personnel, taking into account the abilities and aptitudes of each employee. Professional selection is a component of professional orientation designed to identify professional abilities, namely, compliance with the psychophysiological characteristics of a human body to perform the functional duties of the chosen profession. The goal of creating a safety culture is to convince employees of the need to comply with labour safety requirements, to foster a conscious attitude to measures to improve working conditions and to promote the scientific achievements and best practices.

Safety training is an important component of safety culture. The training is provided at industry-specific qualification courses, where modern safety techniques, methods and tools are studied. The organisation's technical staff improve their knowledge of safety issues at special courses in industry-specific training centres.

Developing a safety culture is an important component of professional training. Lectures, talks and conferences are used as a means of formation. Information stands on occupational safety are set up, and express information on accidents, occupational diseases, and conflicting occupational situations is issued. One of the most effective means of creating a safety culture is the creation of popular science films.

Experience has shown that there is no such thing as a completely safe activity. According to the axiom of potential danger, no area of professional activity and the environment can be considered completely safe [411]. In this regard, the development

of knowledge and skills in safe professional activity is an important element of future specialists training in higher education institutions.

A prerequisite for the development of skills and abilities of a modern specialist is to learn safe methods of interaction between a person and his professional environment. In 1971, American psychologist A. Skinner pointed out that in practical activities, a person relies on two categories of knowledge. The first category is formed by knowledge obtained from a teacher, a more experienced colleague or from information sources, which he defined as 'cold knowledge'. The second category includes the knowledge accumulated by a person in the course of his or her own practical activities, gained through his or her own experience and mistakes. According to Skinner, it is 'hot knowledge' [394].

In order for a specialist to focus on 'cold' knowledge in his professional activity, it is necessary to change the teaching methods that teachers use in their pedagogical practice significantly, taking into account the current needs of society and the requirements for the professional competence of a specialist. The level of knowledge should be such that in their future professional activities, specialists will be able to apply safe working methods and take appropriate occupational safety measures consciously.

The formation of competencies in occupational safety of future specialists should be based on the following aspects:

- 1) general and specialized disciplines should have a close connection with the elements of occupational safety disciplines;
- 2) teaching special courses on occupational safety. The achievement of specific results of knowledge formation is the development and implementation of training courses in the process of training future specialists that will ensure high competence of specialists in the field of safety [413].

The formation of occupational safety culture of future specialists in higher education institutions, in particular in the humanities universities, is based on teaching such courses throughout the entire period of study as:

- 1) Health psychology and occupational safety;

- 2) Psychology of uncertainty and risk in professional activity;
- 3) Psychological and pedagogical principles of safety in education.

These blocks of disciplines encourage safety teachers to apply new approaches and innovative teaching methods to ensure the proper quality of training of future specialists. It should help to reduce the period of adaptation of specialists to the conditions of their professions and to professional situations.

Violation of the systematic and logical approach to the formation of competences, abilities and skills in the field of occupational safety leads to a superficial study of the cycle of occupational safety disciplines by students. As a result, today young professionals often have to master the functions of occupational safety and health on their own in a haphazard manner, directly in their professional environment. It can lead to an increase in the number of wrong decisions, erroneous actions, occupational risk and professional burnout. Unfortunately, it poses a serious threat to human life and health. The catastrophic increase in occupational injuries can only be stopped by introducing effective innovative methods of teaching the principles of occupational safety.

Currently, pedagogical science is actively implementing the trend of STEAM approach, one of the breakthrough tools for transforming modern higher education through science. The STEAM approach is aimed to develop an individual through the formation of competences, a natural science picture of the world, worldview and life values using a transdisciplinary approach to learning based on the practical application of Scientific, Technical, Engineering, Artistic and Mathematical knowledge and skills to solve practical problems for their further use in professional activities. Students learn to harmoniously combine scientific accuracy and creative freedom in their work [414].

The most important goal of the educational process in the field of safety is to develop in future specialists a mindset based on a deep understanding of its main principle - the unconditional priority of safety in performing any professional and personal tasks. Therefore, there is a need to form a special kind of culture that takes into account the specifics of human activity in the context of reaching the limits of growth of safe environmental transformation, a culture of personal and social safety.

At the methodological level, in relation to the topic under consideration, we can identify the main areas of the STEAM approach where, in addition to solving engineering problems, students use in their project such activities as:

- acquiring social competence (mastery of joint activity and cooperation methods, accepted methods of professional communication); create a climate of safety in the workplace;
- learning to constructively criticise and defend their opinions;
- mastering soft skills;
- learning to generate ideas in conditions of uncertainty and act in conditions of danger;
- demonstrating creative activity in ensuring personal and social safety (ability to see problems; non-standard thinking; ability to perceive innovations);
- enhancing the integration of knowledge of individual aspects of personal and social safety into a single interconnected (interdependent) complex;
- transferring the focus of perception from thinking to thought-making, which together contributes not only to the enhancement and development of creative abilities, but also to the formation of experience in making non-standard decisions in the course of professional activity.

Thus, summarising all of the above, we believe that the use of the STEAM approach and special pedagogical conditions in the formation of an occupational safety culture of future specialists in the process of their professional training:

- enhances the integration of knowledge of individual aspects of ensuring the safety of activities into a single interconnected (interdependent) complex;
- strengthens the applied orientation of skills and abilities to ensure the safety of activities;
- develops the student's cultural outlook, as well as a variety of techniques, means and methods in their future professional activities;
- increases the part of creative forms of learning while mastering knowledge and skills of safe activity in order to initiate students` activity;

– forms the students` creative orientation and experience of making non-standard decisions in their future professional activity.

9.1.2. Formation of a culture of work safety at a manufacturing enterprise

9.1.2.1 Modern trends in occupational health and safety management at an enterprise

In recent years, a new type of occupational health and safety has been emerging that differs from the traditional one. Occupational health and safety is considered not as a requirement of society to preserve the health of citizens but as the main goal of an enterprise along with commercial success. Modern occupational health and safety principles are the following: risk avoidance (prevention), safe technologies, optimisation of working conditions, cooperation between employers and employees on an equal footing, the right to participate in decision-making regarding their work, the right to know how affairs are trending and the principle of transparency. Continuous improvement and development of occupational health and safety have now been extended in the European Union to promote ‘well-being at work’, which means moral, physical and social well-being of employees, not just the absence of accidents and occupational diseases. These countries have achieved the significant reductions in occupational injuries and illnesses due to the introduction of total safety management systems, where the responsibility for creating safe working conditions is entirely the employer`s one in any way which is the most favourable and cost-effective for him, rather than by complying with strict funding limits set by conflicting laws and regulations [415].

Nowadays, management as a process involves the functions of organising, coordinating, planning and financing, controlling, assessing the state of management, motivating (stimulating), with the help of which management specialists create conditions for productive and efficient work of employees hired by an enterprise and obtaining results that meet the appropriate goals. This can be achieved with the help of theory and practice of such managing labour conditions and labour protection as:

labour protection audit, labour protection marketing and labour protection management, which are the integral parts of enterprise management.

An occupational health and safety audit is a type of activity carried out on a contractual basis by the certified independent professional auditors and with the participation of company's management. The conclusions and recommendations of this type of audit are strictly confidential and are intended exclusively for a client (company). The main objective of an occupational health and safety audit is to establish whether the company's occupational health and safety policy complies with the state policy, legislation and regulations in the field of occupational health and safety. The conclusions and suggestions of the audit serve as a starting point for the formation or adjustment of company's labour protection policy, development of labour protection programmes and plans. The labour protection audit will be discussed in more detail at the end of the section [416].

Occupational health and safety marketing is a market-oriented type of managerial activity of an enterprise aimed at identifying, forecasting and satisfying consumer needs and properties of an enterprise products in order not to harm consumer health. The objective of occupational health and safety marketing is to adapt production to the market requirements for safe products creation with high marketing potential and to generate additional profit by intensifying sales of products that meet safety requirements and standards [416].

The main functions of occupational health and safety marketing [416]:

- studying the demand for safe products and their pricing;
- planning the production of products that meet safety standards;
- planning the modernisation of production facilities for safe products

manufacturing in accordance with the recommendations of the occupational health and safety audit;

- organisation of safe customer service.

Occupational health and safety marketing combines the interests of a products manufacturer, a consumer and the society in preserving human health, preventing injuries, diseases, fires and accidents.

In modern conditions, the introduction of occupational safety management is not a fashion but a real necessity since such features of management as a systemic, situational approach, accounting for a human factor correspond to the main task of occupational safety (OS). Undoubtedly, management in the field of occupational safety improves the state of labor protection which has always been an inexhaustible source of increasing labor efficiency.

Occupational safety management is a system of modern managerial methods, which includes the creation of conditions for ensuring and maintaining the necessary level of the state and functioning of the economic system through purposeful action on the conditions and factors that affect the safety of work and the protection of employees lives at the stages of design, organization (preparation) of production processes and manufacturing means of production, during the course of production, operational, providing and servicing processes and after their completion, in conditions of normal functioning and vital activities of enterprises and in emergency situations [417].

The essence of current changes will be considered in several main trends of modern management:

First of all, the object of management is fundamentally changing. The traditional point of view on the object of management is complemented by the study of an enterprise's business system; its organizational and legal form; functional management; life cycles of products and organizations; separate spheres of enterprise management: strategy and tactics, politics and ideology, culture and image; organizational development; individual and group behavior.

Secondly, the organizational structure of an enterprise management is characterized by an increased decentralization of managerial functions performance, reduction of management levels to two or three ones by reducing the number of central functional units and headquarters; the transformation of bureaucratic elements of connections, relationships and procedures into self-managing adaptive units in which leadership-subordination relationships are replaced or supplemented by cooperative relationships of colleagues performing joint work. Marketing-oriented, client-oriented,

innovative, matrix, network structures are the main forms of modern organizational structures of an enterprise management.

Thirdly, the role of information and time as resources of a manager is growing. Information in the form of acquired knowledge rationalized the use and development of all other types of resources. A special branch of management - management of organizational knowledge appeared.

That is why the very concept of "Management of occupational safety" is in the process of its formation, although there is a labor protection service in the management systems of every enterprise. At the current stage of its formation, it requires the training of specialists who have deep knowledge, abilities and skills in assessing the state and development of labor organization processes, conditions for the creation and functioning of which in the period of transformational changes require new knowledge and competences [418].

Based on the trends of modern management, it is determined that occupational safety management is a system that involves the implementation of management methods, principles, ability to direct the work of people, their knowledge, experience, intelligence to the realization of the set goals, namely - ensuring production safety, reduction of industrial injuries and employees` safety. The system is not static but constantly changing. Within the framework of modern occupational safety management, an enterprise is considered as a system of social importance: the main is human resources.

The peculiarity of modern occupational safety management is the use of systemic processes and situational approaches to solving labor protection problems, which involve a wide range of interdependent actions aimed at reducing production risk and increasing personnel safety, shifting the emphasis to such categories of activities that ensure successful functioning and formation of an enterprise as a reliable, professionally and ecologically safe partner with a high organizational culture, the quality of work and services and the presence of a multi-purpose policy, the key link of which is a person [419].

Therefore, a modern occupational health and safety specialist must possess comprehensive knowledge and skills in matters of process organization and management, ensuring labor protection and safety, as well as creating conditions for their support and dynamic development. Ensuring labor protection and safety in both public and private sectors is impossible without improving managerial methods, without a clear definition of functions, tasks, technologies and mechanisms for their implementation, skillful management of creating safe working conditions.

In practice, the problem of occupational safety is solved by a wide range of technical, economic, legal and medical professionals, with the participation of which the quality assessment of working conditions, development of quality standards, forecasting of changes in labor protection, assessment and forecasting of changes in the conditions and safety of work should be carried out in various spheres of production. Specialists are required to provide functions for planning, organization and control of the listed tasks, which is carried out by selecting specialists from various fields of knowledge, timely determination of the needs for providing the occupational safety system with appropriate knowledge potential, forecasting changes in the characteristics of working conditions, managing the creation of information database on the state of protection processes of labor, development of projects of labor protection measures and assessment of their effectiveness, development of a plan for carrying out the necessary measures and their financial support. The implementation of the listed functions and tasks requires future professionals to acquire knowledge and skills of methodical provision of their solution, ability to quantitatively and qualitatively assess the expected results of solving tasks. This professional knowledge of labor protection management is acquired when finding practical solutions to the typical tasks [417].

Occupational health management is carried out with the aim of creating and maintaining safe working conditions for employees, which ensure high economic indicators of production activity. As a criterion for assessing the state of occupational safety in an organization, an industry and a country as well as developing solutions to reduce industrial injuries and occupational diseases. Occupational safety management

of the enterprise includes management of technical safety, occupational hygiene, management of occupational safety culture, occupational safety psychology and information technology [418].

Unsatisfactory working conditions and a high level of injuries cause significant economic damage, which is explained not only by such objective reasons as: the difficult socio-economic situation in the country, the change in the nature of relations between enterprises and within enterprises, the composition of the industry scheme (verticals), depreciation of the main production assets. Basically, it is due to the unsatisfactory organization of work, violation of technological discipline, inadequate thinking and attitude to safety issues of labor participants and production-technological processes throughout the management and execution vertical, lack of effective incentives to work safely, without risk to health, that is, all that is related to the employee himself and is called the "human factor". Existing organizational and preventive labor protection work is based on the concept of administrative influence: control and punishment.

The coordination of all these processes is facilitated by occupational health and safety management, which should be present at every modern enterprise as an indicator of the desire to ensure production safety and to maintain permanent staff. The main task of occupational health and safety management is skillful coordination of the activities of various services of an enterprise in achieving the main goal: production safety. The task of occupational health and safety management comes down, in fact, to the creation of a system that connects interacting and interconnected processes related to the safety issues into a single network and integration into the overall management structure of an enterprise. If all aspects of production safety activities are managed according to the same principles, within the framework of a single integrated management system, its effectiveness and efficiency will be much higher.

In general, the structure of labor protection management consists of the following elements [419]:

- safety management of labor subjects;
- labor safety management;

- working conditions safety management.

From the point of view of occupational safety management, any activity is dual-purpose. The first goal is to achieve a certain effect, the second is to eliminate undesirable consequences for a person. If the task of occupational safety is the development of specific measures to achieve its goal, then the task of labor protection management is the definition and implementation of managerial decisions to ensure labor safety [420].

The practical tasks of occupational safety and labor protection management include organizational-hygienic and organizational-technical issues [421].

Organizational and hygienic tasks include:

- ensuring hygienic working conditions;
- provision of production floor space, extra premises and personal service room, sanitary and household appliances;
- provision of hygienic means of individual and collective protection;
- provision of medical and preventive services;
- ensuring the optimal work and rest schedule, etc.

The organizational and technical tasks include:

- ensuring the safety of production equipment operation;
- ensuring the safety of production process;
- ensuring the safety of buildings, structures, equipment, etc.

Accordingly, occupational health and safety management contributes, on the one hand, to reducing the number of accidents at work, personnel illnesses and industrial accidents and on the other hand, it increases motivation to work, to safe professional activity, to increases labor productivity, thus it improves other economic indicators. The complexity of modern productions requires a comprehensive approach to the optimization of occupational safety and creation of integrated management systems. In such conditions, enterprises try solve the following tasks: to train employees in all issues of labor protection; to ensure the safety of production equipment; to ensure the safety of structures and buildings; to ensure the safety of production processes; to

improve working conditions. Occupational health and safety management make rather high demands on employees regarding their professionalism. Thus, personnel must possess not only basic management knowledge but also be familiar with additional security management strategies.

One of the important components of occupational health and safety management is information provision. Management of any process, any organization in any system is impossible without information. Without information, it is impossible to plan activities, to provide plans with any resources, to promptly manage the ongoing processes and it is absolutely impossible to conduct accounting and analysis. This fully applies to the management of safety at work [420].

It is important to know exactly what information is needed for successful security management. It should be information about personnel, hazards at workplaces or in technological processes, information about natural factors, etc. Management is carried out, at least, according to two strategies: "according to the state" and "according to the plan". Accordingly, the information for each of the strategies should be different. Management "by state" requires as complete information as possible about the state of a workplace and a technological process, because there the safety of the worker is ensured. At the same time, a significant part of the protection system relies on organizational and technical methods of protection, as well as means of individual protection. Their presence, correct content, use, preventive maintenance require control. This part of management is carried out "by plan" and such management requires other information [420].

Occupational safety management also includes occupational safety monitoring - a system of observation, collection, processing, transfer, storage and analysis of information about the state of occupational safety at an enterprise, forecasting its changes and development of reasonable recommendations for making occupational safety decisions. These measures are aimed at the implementation of occupational safety engineering - activities aimed at solving occupational safety programs and projects. For this purpose, business process reengineering (BPR) is also used. It is a permanent system of redesigning existing business processes (technologies) taking into

account issues of labor protection and the radical improvement of enterprise operations. All these measures and means contribute to a more effective functioning of labor protection management [422,423].

The high pace of work and life, modern organization of production, aimed at increasing productivity, intensity and quality of work, lead to premature wear and aging of a human body, to an increase in the frequency of diseases, to an increase in industrial injuries and the number of occupational diseases. Numerous studies in our country and abroad single out the problem of industrial injuries, their causes and consequences, while paying great attention to the human factor in its various manifestations. It is safe to say that the problems associated with the dangerous behavior of an employee, the so-called "human factor", have become even more relevant today. It is confirmed by modern statistical data on industrial accidents. According to the International Labor Organization (ILO), in 96% of cases, the cause of emergency situations and accidents at work is an employee. At the same time, 62% of accidents occur as a result of an inadequate assessment or misunderstanding of dangers and existing risks by employees.

Modern studies show that the occurrence of industrial injuries primarily depends on the "human factor". Violations of occupational safety requirements revealed during inspections of enterprises, during the investigation of accidents, indicate that the main causes of industrial accidents are primarily: violations of labor and production discipline by the performers of work, non-compliance with the requirements of occupational safety instructions, admission to work without training and knowledge checks on labor protection issues, absence or imperfection of the labor protection management system, difficult professional conditions, problems of psychological and physiological tension of an employee, chronic fatigue, conflict situations, etc. In other words, industrial injuries are the result of violations in the organization of labor process by officials and labor protection specialists, deficiencies in the formation of professional competence of managers, cooperation of employees and management, deficiencies in modern methods of managing labor processes and production in general. In addition, not enough attention is paid to subjective factors that reduce the

safety of the activities of specialists, that is, the safety of the professional behavior of an employee. Solving the problems of "human factor" also requires specific methods and a fairly high level of professionalism of persons applying these methods in practice.

Occupational safety management in market conditions presents modern requirements for the professional competence of labor protection and industrial safety specialists with specific knowledge and skills in the field of safety management strategy. And the global experience of managing the economy convinces that the introduction of norms into professional relations, the observance of which would create an atmosphere of unity of the goals of each management participant, makes it possible to achieve high level of organization of an enterprise activities, especially in matters of safety.

9.1.2.2 Culture of occupational safety in labor protection management system of an enterprise

A rather new concept in modern literature is the concept of the Culture of Labor Safety. This concept is related to the concept of "occupational safety culture", which, in turn, is directly related to the attitude to occupational safety on the part of management and employees. Does the occupational safety culture improve the occupational health and safety system in organizations? Is it an important part of occupational health and safety management? Does it depend on the professional activity of safety specialists?

In modern literature, the following factors of industrial injuries are distinguished:

- those related to the "human factor" (actions of an immediate executor);
- organization of work (actions of a collective executor - employees and employer);
- technical problems (unstable technological process, extreme changes in working environment, equipment failures and defects).

But it can be argued that purely technical causes of an accident simply do not exist, because they are only intermediate stages between wrong actions and their consequences. At the same time, the formal division of causes into technical,

organizational and personal causes makes it possible to identify the causes of the accident that occurred and to take the necessary measures to correct the situation. Occupational injuries are an important but under-recognized problem in our society that requires systematic and comprehensive efforts to be solved. According to the official data, on average, 400 people die and 5 thousand are injured every year, including more than 1 thousand women. Approximately 500 workers become disabled. It is significant that the ratio of general injuries indicators and those with fatal consequences in Ukraine does not correspond to the laws that exist in the world. The frequency of fatal injuries in Ukraine is higher and is almost 7% of the total number of injured, while in Western countries it is 0.08 - 1.2%.

It is important to understand that the human factor - a system of subjective features of labor process, characterized by a complex of psycho-physiological properties of a person (information perception, decision-making, psychological attitudes, etc.) and his social roles - plays an important role in industrial safety and labor protection.

The main paradox of a human factor problem is that any mentally normal person will never seek to get injured. Why then, according to the experts, the role of subjective factors in industrial injuries is dominant?

The human factor risk, like any other hazard, has its own specific sources. One of the main mistakes in human factor management is the attempt to manage a narrow set of reasons - "dangerous behavior" or "tendency to risk". But this is a very minor approach to this problem.

Modern views on the problem of human reliability are based on the concept of introducing a culture of occupational safety.

Issues of safety culture have been studied for about three decades, mainly in foreign scientific literature. The concept of safety culture emerged after the Chernobyl disaster. It is argued that "safety culture represents a new way of conceptualizing risk management processes in organizational and other contexts."

In recent years, there has been a significant increase in the number of publications on behavior-based safety (BBS) in foreign scientific literature, which

reflect the experience of various organizations in improving the culture of occupational safety. It is noted that automatic monitoring of workplace behavior, quantitative measurement of safety indicators, investigation of potential causes of dangerous behavior lead to an increase in the effectiveness of safety management. An approach based on goal setting, feedback and effective measurement of safety behavior, when properly implemented by responsible management, can significantly improve safety performance.

The new international standard ISO 45001:2018 "Occupational health and safety management. Requirements and Guidelines for Application" is the world's first international standard in the field of occupational health and safety (OH&S) [424]. Its implementation provides an organization with a basis for increasing the level of professional safety, reducing risks at workplaces, creating and maintaining safe working conditions. The document dictates the change in the approach to labor protection management. Among the new requirements for management systems at enterprises, it is specified, in particular, the need to build a health care management system and ensure occupational safety, taking into account the needs and expectations of employees, to conduct consultations with employees at all relevant levels and for all relevant functions.

ISO 45003 Psychosocial Risks in the Workplace provides the guidance on managing psychosocial risks and promoting well-being in the workplace as an integral part of an occupational health and safety management system based on ISO 45001 [425]. An employee's well-being is one of the main priorities for employers. Stress, depression and isolation are just some of the challenges faced by employees. Promoting mental health to address psychosocial risks is critical for ensuring overall well-being, safety and health at work.

To a large extent, promotion of the concept of zero injuries (Vision Zero) contributes to the improvement of occupational safety and safety culture in society. The scientific community is developing new approaches, methodologies and models designed to increase the interest of employees of various enterprises in issues of their own security. When building the program, participants are recommended to use a

systematic approach to occupational safety and risk management, which allows to prevent accidents, industrial accidents and occupational diseases. It is done with the help of the "Vision Zero" or "Zero Injury" Program.

The program "Vision Zero" or "Zero injuries" offers a qualitatively new approach to prevention, which combines three directions - safety, occupational hygiene and the well-being of workers at all levels of production and is adapted to solving specific problems to ensure industrial safety at any enterprise and in any industry all over the world [426].

Developed by the International Social Security Association (ISSA), the concept of Vision Zero or "Zero injuries" is a qualitatively new approach to the organization of prevention, which combines three areas - safety, occupational health and well-being of workers at all levels of production. The concept offers seven "golden rules", the implementation of which will help the employer to reduce the rates of industrial injuries and occupational morbidity. Compliance with each of these rules requires serious organizational work and the use of special tools that allow you to achieve your goals [427].

Compliance with each of these rules is as follows:

- to become a leader – to show commitment to principles;
 - to detect threats – to control risks;
 - to define goals – to develop programs;
 - to create a system of occupational safety and hygiene - to achieve a high level of organization;
 - to ensure safety and hygiene at workplaces, while working with machines and equipment;
 - to improve qualifications – to develop professional skills;
 - to invest in personnel – to motivate employees with the help of participation,
- which allows you to achieve the expected results in preserving the life and health of personnel at any production site.

In Ukraine, they have already begun to introduce the latest British practices for the formation of a safety culture at an enterprise: the "Hearts and Minds" program,

developed by the Energy Institute, Great Britain. The program is aimed at creating a safety culture, changing people's attitudes and habits, contains methods of action in various situations related to occupational hazards.

The creation of the program was initiated by the Shell company on the basis of more than 20 years of experience in psychological research of human behavior in working conditions conducted by the universities of Leiden, Manchester and Aberdeen. The methodology of the program was developed on the basis of the scientists` research of safe human behavior in professional activities, in particular, D. Parker, J. Reason, A. Sneddon, P. Hudson and others.

The advantages of this program are:

- proposed safety culture development tools based on academic research;
- simple and clear language of theoretical blocks;
- tools used in practice not only by experts but also by beginners concerned with occupational safety and health issues;
- presence of workshops in most logical units, which allows the majority of trainings of OS employees or internal trainers of an enterprise to be conducted using their own experience;
- conducting training under this program in small groups of 20 people, since simulations and solutions of various production situations take place during the workshops.

Safety culture is a system of views, beliefs and values of a person (specialist), which determine his attitude to safety (personal, industrial, collective, etc.) and influence industrial relations, behavior and professional activity as well as a set of certain characteristics, features, methods and results of human (specialist) behavior [399].

The culture of occupational safety has two main components: the mission (concept, policy) of occupational safety and the process of involvement in occupational safety. At the same time, the mission is proposed, developed and approved by the head of an enterprise but the process of engaging employees is a complex mechanism that requires constant attention and adjustment. For example, even the same tool can have

different effects on different people, which depends on the level of human development, society, upbringing in a family and many other factors.

Scientists have identified the following components of safety culture [397,399,428,432]:

- management culture (strong management forms a system of values and creates a positive collective experience at an enterprise: any threat is identified and controlled. and well-thought-out management provides resources to prevent it in the workplace);
- awareness culture (collection and processing of information used to prevent accidents);
- communication culture (willingness of employees to report about their mistakes and potentially dangerous situations);
- attitude to punishments (encouraging reporting of any failures, threats, mistakes of colleagues and one's own);
- learning culture (evaluation of effectiveness and improvement of training programs).

European experts distinguish the following components of safety culture:

- leadership;
- two-way communication;
- participation (involvement) of employees;
- study and analysis of previous experience;
- relation to guilt.

The above-mentioned elements of occupational safety culture are closely interrelated and codetermine each other.

The production team generally combines people with different points of view, professional training, experience, knowledge and education. Synergy always arises in a successful team: together people understand and do more than alone. Therefore, the results in it grow non-linearly. Therefore, the implementation of the policy of industrial safety and occupational health, namely the culture of safety, must be realized and

generated also non-linearly, but at all levels of a production enterprise. Both the head of an enterprise, the heads of structural divisions and operational managers must constantly learn from daily experience and take all the necessary measures to develop a corporate culture of occupational safety.

A much more difficult task is the education of safe behavior. In this case, there are many factors: the level of education, upbringing; thoughts, consciousness; the level of development and training of an employee as a specialist. At the same time, it should be noted that the level of development and degree of risk perception of people's work is very different, and this should not be a reason not to hire a person. There are many professions where people take risks because of their professional activities, and at the same time they are extremely responsible in making decisions because they know how to analyze risk because it is a part of their profession. The leaders of many companies are deeply convinced that incidents and injuries can be avoided if every employee is involved in preventing negative events. This is impossible without full control of all processes both in one's own area of responsibility and around it. At the same time, an employee must have personal responsibility for ensuring common safety both at a workplace and outside of his work.

Speaking about the safety culture today, it must be noted, first of all, that today's global trend in this field is the so-called leadership tools. The concepts of "occupational safety culture" and "production safety culture" are practically identical and should be a combination of leadership, participation of managers at all levels and involvement of employees in compliance with safety measures.

The formation of the occupational safety culture is connected with the "tools" of the occupational safety culture, including [412]:

- 1) creation by an employer the safe working conditions for his employees based on regulatory requirements and his internal understanding (protection from any external factors, availability of personal protective equipment, availability of prepared relaxation areas, sanitary facilities, rest areas, etc.).

- 2) initial assessment of the degree of risk acceptability. This is a mechanical tool for the initial cut of a person's character or his potential capabilities, abilities;

3) training, without which it will be difficult to educate safe behavior if an employee is not taught even elementary rules that he must follow. The effect of training depends on the desire of a student and on the correctness of teaching the subject (solving practical cases, using innovative approaches in training; using various simulators);

4) education of an employee's safe behavior, that is, an employee must understand that no one protects his health better than he. For this he must develop a natural safe behavior. Whatever he does, he must do as safely as possible;

5) responsible leadership of a manager.

An independent practice is precisely the closed chain in education that is most effective. Also, the well-known principle of training is 70/20/10, according to which, when training a good specialist, it is necessary to spend 10% of the time on his theoretical training, 20% on training with a mentor, and 70% on performing his own creative tasks, preferably at a workplace. It means that he will become a professional and highly-qualified specialist only when he is able to carry out his professional activities independently, using the skills acquired during training and in practice.

The safety culture for all types of activities in organizations and individuals at all levels of the hierarchy should be based on certain principles, including [412]:

- safety-oriented thinking, which forms an internal critical position, which excludes complacency and involves the pursuit of perfection, development of a sense of personal responsibility in security issues;
- personal awareness by each employee of the importance of ensuring safety;
- knowledge and competence, which are provided through training and strict implementation of job instructions and self-training of personnel;
- commitment to the safety priorities of organization top management and its comprehensive demonstration to the staff;
- formation of an appropriate internal position of individuals through motivation, management methods, setting goals and creating a system of incentives and punishments;

- high level of knowledge and competence of managers, which ensure the training of personnel and the implementation of security measures;
- responsibility for an individual activity by defining and describing the relevant job duties;
- regular implementation of supervision, control and audit of the state of systems, enterprise security and personnel training; readiness to respond appropriately to the critical position of individuals.

The potential for safety culture development is the assessment and management of internal factors, such as: people's beliefs and worldviews as well as the culture of an organization in general. Compliance with safety measures should become a real belief and need of each of us, not only during working hours, but also in everyday life. In order to popularize the safety culture, it is planned to use informal approaches: promotion of ideas and rules through cartoons, comics, crossword puzzles on traffic safety and occupational health and safety, bright attractions.

The following definition of a preventive safety culture was announced by the International Labor Organization on Occupational Health and Safety: "It is a culture in which the right to a safe and healthy working environment is respected at all levels, with the government, employers and employees actively participating in ensuring it with the help of a system of established rights and obligations; the principle of prevention is given the highest priority." The new motto of the World Day of Safety and Health at Work in 2022 was as follows: "Together we form a positive culture of safety and health" (World Day for Safety and Health at Work 2022 — Acttogethertobuild a positive safety and health culture).

Various terms are used to define safety culture, its constituent parts, aspects, properties. For example, the phrase "safety culture" is often found in English-language publications; "security culture", "culture of security", "survival culture", "culture for survival", etc. Among the signs of this concept, scientists most often single out the following: "a set of characteristics and features of activity and behavior", "a component of organizational culture that affects work relations and behavior", "methods and results of intelligent human activity", "a certain level of development of creative forces

and human abilities", "the process of preservation and development of values, norms and traditions", etc. That is, it is a set of certain characteristics, features, methods and results of human behavior that are logically connected with a certain content - ensuring safety, and to a greater extent in the conditions of professional activity. Thus, it is the value attitude of a person (specialist) to safety which affects his behavior and professional activity.

The basis of the security culture is universal imperatives and values as well as historically formed ways of their perception and achievement. These include: basic (life, health, safety, well-being, comfort), social (propensity to risk, personal independence, success in life), political (will, legality), moral (welfare, justice, mutual aid), religious (Law of God, salvation, grace), aesthetic (ideal, harmony, perfection) [428].

The following are the most important aspects of a safety culture formation.

First of all, it is a continuous support, constant participation and demonstration of a personal example of the company leaders. The solution to the problem of forming a sustainable occupational health and safety culture at an enterprise is that managers should not only formally carry out preventive work on occupational health and safety, but also meet employees to discuss workplace safety issues. The culture of occupational health and safety should be focused on both managers and employees of an enterprise.

Secondly, the formation of a competent labor protection service, which is able to methodologically support the identifying and eliminating key risks.

Thirdly, it is imperative to work with middle managers to form a critical mass of managers who share and apply new approaches to safety in their daily activities.

The motivation and behavior of workers in labor safety issues is determined by how they perceive priorities in occupational safety, which are formed by their immediate superiors and administration [429,430]. This approach will eliminate the formal implementation of safety rules and will allow employees to participate in creating a culture of safety at an enterprise.

Model of motivation spectrum is given in Table 1.

Model of motivation spectrum

Motivational state	Action
Automatic	A forced action that arises from the need to work like everyone else, while there is no sense of the work value.
External	A forced action, but reinforced by certain external incentives (additional material reward).
Imposed	A forced action due to certain pressure from others (colleagues, management), certain hopes or expectations or feelings of fear or guilt.
Concerted	A conscious action due to the understanding of a certain significant non-material benefit (acquiring new experience or the opportunity to make new useful acquaintances).
Integrated	A conscious action related to the purpose of work or life, the opportunity to discuss an important problem, etc.
Flow	Actions are caused by receiving satisfaction from the work performed.

Currently, a large number of enterprises and companies use organisational (corporate) training programmes that allow, for example, to identify and assess risks, respond to emergency situations, assess the safety of working at height or with cranes, i.e. a wide range of tools depending on the area of an enterprise where an employee works. It is not mandatory from the point of view of the state occupational health and safety requirements, but from the point of view of many companies. It is a kind of necessary training.

There is also an additional corporate training in related technological operations, which, by developing employees' skills, helps them become polyvalent, i.e., when employees can replace each other without losing their qualifications. It is an important resource for managers. If an employee wants to develop further, many educational institutions offer educational courses related to communications and behavioural competencies. Thus, training and maintaining the required level of competence, together with the creation of working conditions, is the basis for a good level of occupational health and safety.

Leadership qualities of a manager are an important tool of culture. The leader's personal example is one of the keys to building a safety culture, as without demonstrating by personal example the top manager's commitment to the declared values of prioritising safety, no safety programme will work, as the employees will not

believe in the sincerity of the statements declared. In order to achieve the goals of a safety culture, the top management of an enterprise can adopt a policy that demonstrates the commitment of senior management to safety. It can set a vector for development and may include basic requirements, such as: 'Occupational health, safety and environmental protection is an absolute priority and an integral part of the processes at all stages of production'.

Many studies show that company's management is an example for employees, a model for their behaviour and actions. However, it should be understood that at a big enterprise with a large number of employees, this role (and, accordingly, responsibility) is transferred to managers of other levels - directors of enterprises, line managers. Accordingly, direct managers must be properly trained. Their right approach to the organisation of production and day-to-day activities can be the first step towards so-called conscious leadership and a basis for employees' education. Attention to the smallest details in a leader's behaviour, such as a conversation with an employee during a site inspection, can make a big difference to employees' approach to occupational health and safety and to their own safety. Leadership in occupational health and safety is one of the key indicators in assessing both individual managers and management teams. Management alone cannot (and should not) develop a safety culture of an enterprise or organisation. A safety culture permeates all managerial levels and must come not only from the top management, but also from employees and contractors at all levels of communication. 'Ideas lead to results, and ideals lead to leaders' [431].

Competitions, recognition of employees' achievements by company's management and others, the opportunity to demonstrate their achievements and the achievements of their structural units are the simplest and most straightforward methods of attracting attention and ensuring employees' participation in improving the production process. Most advanced companies point to various festivals and competitions as measures to involve employees in management and improve their safety culture.

Thus, it is critical to assess the formation and improvement of safety culture. It includes professional activity and competence of an employee in occupational safety

as well as the psychological basis of safety training. They are the following: Elements and models of safety culture; Assessment methods; Strategies for implementing safety culture. A promising direction for the implementation of social and psychological policy in the field of occupational safety culture improvement is the formation of a conscious culture of occupational safety.

Any situation or process needs to be managed. And occupational safety culture is no exception. Its manageability is achieved through such preventive actions as:

- injury reduction programmes designed for both employees of an enterprise and contractors;
- risk assessment procedures for routine and high-risk work; individual and collective motivation;
- conducting internal investigations of incidents and potentially dangerous situations;
- identifying causes and developing corrective measures to prevent recurrence and minimise risks;
- conducting behavioural safety audits (BSAs);
- the practice of labour protection commissioners; the use of drone services for production control of remote, hard-to-reach areas and large equipment;
- practice of incoming control of contractors - conducting on-site audits of contractors prior to the conclusion of a contract, drawing up evaluation sheets, testing the knowledge of contractors' employees;
- organisation of comfortable sanitary and amenity facilities - psychological relief rooms, canteens, exercise therapy classes, etc.

Many large-scale enterprises develop various Codes and Regulations as part of their health, safety and environmental management system to develop and implement safety culture. They contain: basic elements, including the occupational health and safety policy; hazard assessment and risk management; the procedure for developing, approving and implementing rules, standards and instructions; functional elements, such as determining the procedure for designing, building and reconstructing facilities,

equipment serviceability; transport safety, etc.; organisational elements closely related to the occupational health and safety culture and their implementation processes: employees` engagement and motivation; training and competence development; interaction with contractors; notification of events and the algorithm for their investigation; organization of effective exchange; change management; documentation management; control elements, which include auditing, analyzing and monitoring current production activities and the work of structural units.

Common labor safety practices in global companies [430] are given in Table 2.

Table 2

Common labor safety practices in global companies

Practice	Characteristics	Name of the company
Safe behavior	Formation of appropriate attitudes among employees to the safe performance of production tasks and formation of an active position regarding labour safety	«ACCO Brands Corp»
Formation of security policy by company`s management, personal obligations	Determination of the vector of company's development, taking into account security requirements, in the form of a written commitment.	National Agricultural Association of the USA
Training effective security leaders	Identifying and training effective employees who can inspire colleagues to work safely	«H+M Industrial EPC»
Continuous training of employees	Development of a visual educational and training complex for the formation of an understanding of hazards among employees	«Electrical Systems & Instrumentation»
Creation of danger prevention system	Creation of automated control system over critical indicators of technological processes, formation of risk-oriented thinking among employees	«Valvoline LLC»
Creation of a stop system for dangerous jobs	Implementation of a mechanism for stopping dangerous work or dangerous behavior of employees (STOP cards)	«Valvoline LLC» «Milliken & Co» «TOPCOR Cos»
Formation of safety committees and their work	Uniting a certain group of employees for implementation of security policies to prevent incidents and accidents	«Avizen»
Determining risky behavior	Introduction of employees` testing to identify their outlook, ability to learn and perform work safely	«H+M Industrial EPC»

AGRICULTURE, TECHNICAL AND APPLIED SCIENCES: MAIN PROBLEMS AND SOLUTIONS

Introduction of professional risks assessment	Procedures for occupational risk assessment of occupational diseases and injuries have been developed for every production process.	«Yaskawa America Inc»
Investigation of incidents	Employees participate in the development of solutions related to incidents, which occurred as a result of human error	«Atkins Energy America»

Effective work of all elements ensures functioning and continuous improvement of the security level of an entire enterprise and. It allows employees who work in different structural units or branches, if an enterprise is large, to have the same idea of security that the top management of the company has and also clearly understand the goals and objectives of an enterprise. Effective work of all elements of occupational safety management system allows each employee to believe that accidents and injuries can be prevented. This faith is based primarily on the acceptance of every employee (from a manager to an employee) of responsibility for ensuring his own and collective security both in and out of the workplace. Leaders create and influence the safety culture directly by defining goals and setting tasks, creating conditions, learning and transferring knowledge and experience. That is why the first element of occupational safety management system is Policy and Leadership. Safety ideals in the process of developing the culture of occupational safety as a compass constantly indicate the heart (emotions), not the brain (logic). The culture of occupational safety is intended first of all to "fill the soul" and to ensure the quality of work at physical, psychological and emotional levels. The problem of safety of professional activity today is becoming one of the central in a comprehensive study of safety components. Its solution reflects a person's desire for safe work in the dynamic conditions of society, to avoid risks and dangers in social and professional systems, to develop an effective system of safety and continuous improvement of skills of how to manage it [411].

Therefore, today the culture of occupational safety is very closely related to the concept of "complex safety in production".

The evolution of safety culture in organizations can be divided into stages:

1) "reactive" injury rate: employees follow safety rules solely due to natural instincts;

2) "dependent" level: labor protection requirements are clearly observed during supervision.

3) "independent" level: employees are not guided by instincts, but by consciousness. They are convinced of the importance of occupational health and safety standards and care not only about their own safety, but can also make remarks or even stop the work of a colleague in case of violations of occupational health and safety rules;

4) "interdependent" level: It is the work of the entire team of an enterprise. In order to achieve this level of industrial safety, companies need to use complex tools - continuous training, industrial safety audits, review of employment policy.

A safety culture is positive when workers are convinced that safety is a key value of an enterprise. This can be achieved if: employees trust their management; the labor protection policy is implemented; managerial decisions demonstrate concern for people (along with concern for increasing revenues); employees contribute to the solution of production problems and receive a positive assessment of their performance. Production safety must be established at the planning stage and ensured at all stages of the production process. Occupational health and safety measures must be integrated into the general set of measures to ensure production stability. Occupational health and safety policy is the key to creating a safety culture. Thus, the culture of labor safety is an integral part of professional activity.

Accordingly, security culture is part of the corporate culture of an enterprise, since most researchers as a common component of culture indicate the shared values and norms of an enterprise staff.

Thus, the main directions of corporate safety culture implementation and its increase, introduced into the system of occupational safety of an enterprise, can be: improvement of corporate culture of an enterprise, monitoring of safety culture, which will help to identify strengths and weaknesses and lay the basis for the development of an effective program for improving the culture of safety; orientation of leaders on leadership in the development of safety culture (leaders are a model for imitation, since

they obey all the rules, encourage the safe behavior of employees of a company); improvement of formats and methods of training in industrial safety.

9.1.2.3 The culture of occupational safety as a component of a occupational safety specialist's professional activity

The modern stage of industrial production and technical systems development requires the training of a large number of highly qualified specialists in the field of technical sciences, among whom a special place is occupied by an occupational health and safety specialist.

Every employer that carries out production activities, the number of employees of whom exceeds 50 people, in order to ensure the safety of technological processes, to monitor compliance with labor protection requirements, is obliged to create a labor protection service or introduce the position of a labor protection specialist who has the appropriate training or experience work in this field.

It is worth noting that the level of labor process safety and the state of labor protection at an enterprise are largely determined by the degree of professional skills and high efficiency of a labor protection specialist, the main condition for achieving which is readiness for work, professional suitability, qualifications and personal characteristics of an employee who takes this position. The leading aspect in this matter is the degree of correspondence between an individual and his profession, which actualizes the need to develop the professional characteristics of the occupational health and safety specialist, which will greatly contribute to his professionalization - the integral continuous process of a professional personality formation.

An occupational safety specialist is an employee who implements practical activities in the field of occupational safety and occupational risk management as well as the functioning of the occupational safety management system at an enterprise and its structural divisions. The main goal of this type of professional activity is the prevention of accidents at work and occupational diseases, reducing the level of exposure of workers to harmful and dangerous production factors [432].

The personal qualities necessary for an occupational health and safety specialist are also important. These are: principledness, responsibility, objectivity, internal

organization and accuracy, self-confidence, erudition, sociability, emotional and mental stability.

Performing the professional tasks of an occupational health and safety specialist requires a harmonious integration of specific knowledge, abilities, skills, professionally important qualities and individual characteristics of a personality. All this is a side of the coin of the culture of professional activity (professional culture of a specialist).

To date, such concepts as "perceived safety", "behavioral audit", "organizational climate", "communication culture", "labor protection culture" and "labor safety culture" are used in the vocabulary of a modern labor protection specialist. In this case, the "culture of labor protection" means a high level of development of preserving the life and health of workers in the working process [428].

Scientists propose to define the safety culture of professional activities, on the one hand, as part of culture of life safety and, on the other, as part of professional culture of a specialist (a set of positions, values and patterns of professional behavior).

That is, the safety culture of professional activity is an integral quality of a specialist's personality, characterized by the integral unity of his needs, knowledge and skills to prevent dangerous situations and threats, and the degree of readiness for self-development, based on a deep awareness of the priority of safety when solving any professional issue [432].

In this context, it is also important to take into account the professionally important personality qualities of future qualified OS specialist, by which scientists understand individual dynamic personality traits, mental and psychomotor properties (expressed by the level of development of the corresponding mental and psychomotor processes), as well as physical qualities that meet the requirements for future specialist of any profession and contribute to the successful mastery of this profession.

General characteristics of profession

The name of the profession according to the officially accepted nomenclature: Occupational safety engineer.

Section - Specialists.

Subdivision - Technical specialists in the field of applied sciences and technology.

Public significance. At any enterprise, situations that pose a threat to its employees can arise. In order to prevent accidents at work, employees should follow the rules of working process organization, conduct appropriate trainings, assess the quality of environmental conditions taking into account the specifics of the sphere. All this should be done by an OS specialist. Public significance is explained by the need for this profession. An occupational safety inspector is a specialist who monitors compliance with the rules and norms of occupational safety at an enterprise, analyzes risks and develops occupational safety measures in an organization, forms a corporate policy in the field of industrial safety.

The need for a profession: on the labor market, this profession is in demand, since the mandatory position of an occupational health and safety specialist in an organization, regardless of the form of ownership and type of economic activity, is fixed at the legislative level. The implementation of European business standards and development of Ukraine's economy determine the trend of increasing demand for labor protection specialists in the nearest future.

Required education: higher education in the professional direction "Occupational Safety Engineer" at a bachelor educational qualification (degree).

Prospects for career advancement: possibility of holding positions in state authorities (central, regional, local administrations), state labour supervision bodies (State Labour of Ukraine), branches of the Social Insurance Fund, etc. The profession of an occupational health and safety specialist is favorable for career growth. In the long run, the specialist can become the head of the department or take the position of the head of occupational health and safety department.

Labour process

Content of work. The range of tasks is vast. It is of a very large degree of responsibility. The labor protection specialist monitors the implementation of safety instructions, takes measures to eliminate violations; checks the availability and correctness of issuing orders and permits for work; participates in the investigation of

accidents at work, keeps records and analyzes the causes of injuries; develops measures for their prevention, develops and implements the occupational health and safety management system in accordance with the legislative and regulatory acts.

Professional orientation: the profession belongs to the types "Man - Technology" (as it is related to the interactions how to handle technical devices) and "Man - Symbolic system" (as it involves a lot of work with symbolic information: texts, numbers, formulas and tables, drawings, schemes), as well as "Human - Human" (since in turn it is aimed at working with people).

Depending on the tools of work, the profession is connected with the use of functional means (F), tools of labour.

Main duties:

- control over compliance at enterprises with rules, standards, norms, provisions, instructions on labour protection, industrial sanitation, fire prevention and environmental protection, on providing employees with established benefits and compensations for working conditions;
- checking the technical condition of the equipment for compliance with safety requirements, timely conducting of tests, checks and correct operation of the equipment, compliance with the schedules for measurements of the air pollution, industrial noise, vibration, etc.;
- supervision of the timely provision of workers with overalls, special shoes and other PPE and their maintenance in accordance with regulatory provisions, as well as provision of workers with tools for profession and work;
- conducts briefings for the company's employees, attestation and certification of workplaces and production equipment for compliance with labour protection requirements;
- carrying out a special investigation of accidents, occupational diseases and accidents at work, monitoring the recording and analysis of these events, as well as developing a proposal for the prevention of accidents, occupational diseases and industrial injuries;

- participation in the development of proposals to improve working conditions and safety at an enterprise.

Based on the results of the work performed, the specialist reports on labor protection according to the established forms and in the appropriate terms.

Requirements imposed by the profession on an employee

Professional knowledge: Legislative and regulatory framework for labour protection, social insurance, pension provision, accident investigation. An occupational health and safety specialist should also know:

- requirements for ensuring security and protection of business entities;
- basic provisions and requirements regarding the identification and certification of high-risk objects and potentially dangerous objects;
- requirements for means of individual and collective protection of employees.

Professional skills: Implementation of effective management of occupational health and safety in an organization, assessment of the risk of professional activity and implementation of organizational and technical measures to prevent the occurrence of occupational diseases and accidents in organizations. Also, an OS specialist should be able to:

- identify dangers and possible sources, assess the probability of occurrence of dangerous events and their consequences;
- choose methods and apply means of protection against the influence of negative factors of chemical, biological and radiation origin;
- apply the acquired knowledge of the legal foundations of labor protection;
- choose optimal measures and means aimed at protecting workers and preventing the occurrence of emergency situations.

For successful work as an occupational health and safety specialist, it is necessary to have the following professionally important qualities:

- self-confidence in the decisions made;
- independence (having one's own opinion);

- energy;
- ability to obey the requirements and norms of an organization;
- resistance to stress;
- erudition, competence, awareness;
- striving for constant personal and professional growth;
- responsibility;
- initiative;
- emotional stability;
- punctuality;
- self-organization;
- kindness, tact;
- consistency in business;
- persistence and firmness;
- ability to plan one's work;
- inclination to work with information and documents;
- ability to highlight, structure and present information;
- inclination to work in the sphere of communication;
- competent, clear, expressive and understandable language;
- concentration, stability and distribution of attention;
- immediate and long-term memory;
- visual memory.

Medical restrictions. Pronounced diseases:

- musculoskeletal system;
- nervous system;
- cardiovascular system;
- organs of hearing and sight;
- skin and allergic;
- physical limitations (restriction of mobility).

In case of these diseases, working in the profession of an occupational health and safety specialist can lead to a deterioration of health, as well as create insurmountable obstacles for mastering and growing within the framework of this profession.

Psychological characteristics of work

Specific difficulties: work with the increased moral responsibility for health and life of people, psycho-emotional stress, frequent business trips, if a company is large with an extensive branch network.

Professional hazards: neuro-emotional (sometimes emotional tension).

A specialist in OS is characterized by constant, open, straightforward communication.

We also developed a model of an enterprise occupational health and safety specialist.

Required qualities: organizational, communicative qualities, analytical mindset, resistance to stress, responsibility.

Developed cognitive processes: perception, attention, memory, thinking.

Regulatory processes: goal formation, planning, forecasting, programming, decision-making.

Communicative qualities: contact, tact, focus on open and active communication, ability to quickly establish contacts, sociability, tolerance.

Motivational and target settings: ensure safety at an enterprise.

Type of person: social.

Expressed personal qualities: responsibility, initiative; emotional stability, erudition.

A qualified occupational health and safety specialist must be able to: carry out effective management of OS in an organization, carry out a risk assessment of professional activity and implement organizational and technical measures to prevent the occurrence of occupational diseases and accidents in organizations; to identify hazards and possible sources, assess the probability of hazardous events and their consequences; choose methods and apply means of protection against the influence of

negative factors of chemical, biological and radiation origin; apply the acquired knowledge of the legal foundations of labor protection; choose optimal measures and means aimed at protecting workers and preventing the occurrence of emergency situations.

Skills: ability to manage people, conduct negotiations, predict the development of the situation; assess the consequences of one's decisions; make managerial decisions, solve problems in conditions of time shortage.

From the point of view of occupational safety culture, the purpose of a occupational safety specialist's professional activity is the formation and modernization of knowledge regarding the main personal and cultural factors of occupational safety and efficiency of employees professional activity.

The culture of occupational safety has psychological, behavioral and situational components. The psychological component consists of the general values, attitudes, perceptions and beliefs that determine safety decisions and behaviors. The behavioral component can be defined as safety practices used in workplaces. The situational component is the procedures, regulations, organizational structure and management systems related to security.

Occupational safety culture is a product of individual and group values, attitudes, perceptions, competencies and behavior patterns that can determine an organization's commitment to an occupational safety management system.

It is not enough for a modern person to have various knowledge in the field of technology, to be able to apply it in practice. He must understand and overcome the limitations of technology, foresee the consequences of his own actions, including erroneous ones and make efforts to ensure safe work in deteriorating conditions, to be able to act competently and responsibly in dangerous and non-standard conditions and situations.

To create and develop a positive workplace safety culture, employees should be trained and informed so that they can actively participate in safety improvement. Employees must be trained in safety! They must learn from insights and intuitions, not accidents and change their way of thinking and acting by sharing experiences and

discussing common problems. If an employee has such knowledge of safety culture, an employer will only need to "arm" him with information about the specifics of working conditions, methods of safely performing the work assigned and provide him with all the necessary means of collective and individual protection. The worker will perform the rest of the labor protection work by himself.

A health and safety specialist, having a good understanding of daily work processes, should be a communicator, a connecting link that contributes to the creation of a safety culture within an enterprise or organization.

In addition, the formation of mentoring programs is gaining momentum today. This is the cultivation of safety culture representatives among employees. These are the people who can become leaders and bearers of company's cultural code, who will serve as an example and increase the motivation of employees to work safely.

It is extremely important to raise the awareness of employees. It is the work with employees' emotions. For example, meetings with employees who suffered from an accident, stories about incidents and their causes in other departments, showing videos of events.

Another way to increase awareness is to create and maintain a sense of employee involvement in a common cause. This gives meaning to their work in an organization, increases its significance, transforms workers from an object into a full-fledged subject of an enterprise's activity.

Preventive actions can include:

- implementation and management of injury reduction programs aimed at employees;
- individual and collective motivation;
- identification of root causes and development of corrective measures in order to prevent recurrence of events and minimize risks;
- conducting safety behavioral audits (SBA);
- increasing the level of awareness and improving the quality of training of both employers and employees on labor protection issues;
- a sense of responsibility for the safety of team members;

- trust and honesty in team relations;
- significance of the cultural phenomenon while ensuring the proper state of security in social and working relations;
- atmosphere of a teamwork and mutual support in the implementation of policy in the field of labor protection;
- conducting and participating in activities related to the formation of both one's own culture and the collective culture of safe work;
- conducting operational and innovative games aimed at obtaining qualitatively new knowledge on security issues using the latest information technologies (IT).

Conclusion: the performance of professional tasks of an occupational health and safety specialist requires a harmonious integration of specific knowledge, abilities, skills, professionally important qualities and individual characteristics of a personality. All this is the side of the medal of professional activity culture (professional culture of a specialist).

9.1.2.4 The role of an employee's personality in ensuring occupational safety

It is important to understand that the human factor as a system of subjective features of a working process, is characterized by a complex of psycho-physiological properties of a person (information perception, decision-making, psychological attitudes, etc.) and his social roles and plays an important role in industrial safety and labor protection.

When analyzing the term "human factor", in the field of industrial safety and occupational health, the following are considered [433,434,435]:

- conscious or unconscious actions or inaction of a person (group of people) that contain the risk of occurrence (led to the occurrence) of a dangerous event;
- deliberate or accidental mistakes, human actions caused by the peculiarities of his biological nature and interaction with the surrounding environment;

– two components of a human factor - the environment and human nature, paying tribute to the first, the emphasis is on human nature, which, in the process of preventing and countering threats from a company's personnel, is essentially a formative source of human factor and determines the nature of its impact on an object or a process. The main paradox of a human factor problem is that any mentally normal person will never seek to get injured. Why then, according to the experts, the role of subjective factors in industrial injuries is dominant?

The human factor risk, like any other hazard, has its own specific sources. One of the main mistakes in human factor management is the attempt to manage a narrow set of reasons - "dangerous behavior" or "tendency to risk". But this is a very minor approach to the problem.

Modern views on the issue of human reliability are based on the idea that the mistake should be considered not only as a cause of complication, deterioration of professional activity or the occurrence of an emergency situation, but also as a consequence of the manifestation of certain professional qualities, mental, physiological and other functions, which determine operational readiness and stable level of suitability of a subject to perform specific tasks.

In general, safe work presupposes the physical and psychological readiness of employees to work according to the rules and perform their functions in accordance with the requirements of labor protection, having at their disposal a sufficient level of professional literacy and conscious motivation.

According to statistical data, in recent years, the problems of psychological and physiological stress of an employee have increasingly come to the fore, pushing aside the improvement of traditional working conditions related to physical factors of environment (temperature, humidity, light, noise, vibration and polluted atmosphere). It is caused by a relative decrease in physical stress at the same time as an increase in psychological and physiological stress on a person, which can result in chronic fatigue, mental overstrain and aggravation of relations with other employees and managers. At the same time, physiological and psychological fatigue is accompanied by a deterioration in the quality of work, illnesses, loss of concentration of attention and

coordination of movements, loss of caution and prudence. All this significantly increases the risk of injury in the same physical conditions of a workplace. An essential component of ensuring the safety of working process is understanding the nature, time of appearance and causes of errors. Errors have a unique characteristic that distinguishes them from other factors. They are a norm of human behavior. Mistakes play a major role in learning new skills as well as in maintaining and improving those skills. Only by exploring the limits of interaction with environment and, therefore, by making mistakes people can learn the limits of their actions and gain some experience. The path to professional mastery is through overcoming mistakes. Studies have shown that mistakes are involved in two-thirds of fatal accidents in a workplace.

Errors differ from each other depending on the way information is processed. For example, errors can take the form of false sensations due to a weak stimulation of senses, due to the weakening of attention, due to prolonged or too complex environmental action, due to various failures in memory, errors of motivation and reasoning. All of these types of errors are visible in the context of every accident. The types of errors can also differ depending on the application of automatic and non-automatic modes of operation. It is often believed that learning can solve the problem of human error, because the automatic mode assumes that the necessary sequence of actions can be performed without thinking, constant attention and feedback, when only periodic control of the correctness of performed operations is needed. Errors in automatic modes manifest themselves in the form of inattention, inadvertent actions or omissions and are different from errors found in non-automatic modes. Errors associated with the automatic mode are usually associated with a change in the nature of control over the performance of the task assigned. They can arise in the process of conscious control or due to the imitation of similar models of automatic mode.

That is, there are "technical" errors of accidental mistakes or unintentional actions, which are most often found in production situations that are often repeated (habitual, standard), and occur accidentally (for example, due to the loss of attention) during repeatedly practiced or automatic in nature actions, and "mental" errors, which are mainly related to insufficient knowledge of an employee, when he incorrectly

assesses (from the point of view of safety) the production situation and incorrectly applies the rule known to him to this situation, or does not know well or does not know at all what is necessary in order to ensure the security rules. In addition, it often turns out that the current rules (instructions) do not foresee a dangerous situation that suddenly arises.

With regard to a specific worker performing a specific job, the decisive production factor is his workplace. The workplace, in the broadest sense of the term, actually dictates the requirements for an employee. It is at the workplace where an employee performs his labor functions and is exposed to the action of the entire set of production factors. But, in addition, the workplace as a physical space where an employee is located and forms a complex of specific production factors that affect his psyche, well-being, health and working capacity in general. By spatial dimensions of a workplace, microclimate, lighting, ergonomic parameters of the equipment, organization and cooperation of work, content of work operations, pace of work and others are meant.

Production factors affect not only an employee's psyche. Many of them represent a real or potential threat to life. Really dangerous factors are, at least, protected, marked and observed. It is much more difficult to assess hidden potential hazards such as the presence of methane in the atmosphere at a workplace or the electrical potential on the engine housing. Therefore, in order to ensure the safety of labor activity, an employee must continuously or periodically reflect in his consciousness a certain part of production factors, assess their danger and respond (act) adequately.

Any labor process can be considered as a chain of psychomotor acts (operations) [436]:

Most operations contain three phases:

- 1) the first phase. Sensation and perception of working space, elements of production environment, including objects and tools. Sensation is a psychophysiological process of receiving signals (external and internal stimuli) through the sense organs. Perception is a mental process of analysis and synthesis of

sensations, as a result of which there is a holistic reflection in the brain of objects and phenomena currently acting on human senses;

2) the second phase. Thinking is a mental process of understanding what is perceived, reaching its essence, connections and relationships. In the course of thinking, the images created in the brain as a result of perception are analyzed and evaluated according to a number of criteria, after which something that corresponds to the evaluation of the decision is accepted (or not accepted). In the course of decision-making, a choice (search) of an acceptable (in the opinion of an employee) option of actions is made. A model (project) is produced; how and in what sequence this action will be implemented; and what its result should be. Thus, thinking is a continuous processing and synthesis of information coming from the outside and information stored in the operative and long-term memory of a person in order to make a decision about the necessary actions;

3) the third phase. Action can be expressed in the form of physical action on tools, control levers and other objects of work. These actions are characterized by the amount of effort, speed, accuracy, coordination and pace. At the same time, the action can be in the form of movement of an employee in the space of his workplace, in the form of speech or gestures. In practical activity, the considered three phases in many operations flow together as a continuous sensorimotor act. All this is the structure of labor activity that takes place at a workplace during the normal flow of a production process.

Characteristic dangerous actions of employees, highlighted in modern scientific literature, are given in Table 3.

Table 3

Dangerous actions of employees

Phases of psychomotor acts	Types of dangerous actions
Perception of an object, situation	Non-perception or incorrect (erroneous, delayed) perception of a signal, signs of danger.

<p>Thinking: analysis and assessment of a situation; making a decision</p>	<p>Incorrect assessment of a situation. Incorrect or untimely decision. Failure to make a decision.</p>
<p>Action (psychomotor act)</p>	<p>Omission (failure to perform the assigned action, operation). Incorrect (inaccurate, erroneous) execution of an action (operation). Untimely action. Use of a dangerous technique; prohibited action. Impulsive (affective, panic) actions. Prostration (stupor).</p>

In practice, neuropsychological methods are usually used, which makes it possible to predict the possibility of false, delayed, perverted perception by an employee of various external signals; helps to correctly and timely evaluate various situations, make adequate decisions; perform actions accurately, timely and coordinated. Psychological methods will make it possible to reveal the level of responsibility, discipline and motivation both for safe work activities and for violations of safety requirements, propensity to risk, characterological features, etc.

Modern industrial production, energy, transport, construction and a number of other spheres of human activity contain a high potential danger for people, society, and the environment. Due to various reasons (organizational, technical or personal), the normal working process can be disrupted by an unusual event - a dangerous situation that can create an increased threat to an employee and turn into an incident or accident. In such situations, an employee, in addition to professional knowledge, skills, abilities for operational thinking, necessary for the normal working process, must possess special knowledge and skills in relation to dangerous situations, not to panic, think clearly, show his will, etc.

Hypothetically, a situation is possible when a person who showed perfect results according to the proposed scale, that is, potentially incapable of provoking a dangerous situation, in the event of its real occurrence, may fall into a state of panic affect, which

can lead to an imminent disaster. Therefore, in factories where dangerous situations occur with a high frequency, it is necessary to pay the most careful attention to the study of the emotional state of an employee in dangerous situations.

A thorough medical examination will reveal physical deficiencies that can provoke dangerous situations. To a greater extent, this applies to the organs responsible for receiving external signals (sight, hearing, touch). However, no less important is the diagnosis of mental illnesses in which a person can lose control over himself at the workplace.

According to the research by specialists, the psychological causes of dangerous situations are divided into several types [436].

1). Violation of the motivational part of person's actions manifests itself in reluctance to act, which ensures safety. These violations occur if a person underestimates the danger, is prone to risk, is critical of technical recommendations that ensure safety. The causes of these violations act, as a rule, for a long time or permanently, if special measures are not taken to eliminate them. Violations of the motivational part of actions can have a temporary nature, associated, for example, with a state of depression or alcohol intoxication.

2). Violation of the indicative part of human actions, which manifests itself in ignorance of norms and methods of ensuring safety, rules of equipment operation.

3). Violation of the executive part of person's actions, which manifests itself in non-compliance with safety rules and instructions due to the inconsistency of a person's psychophysical capabilities (insufficient coordination of movement and speed of motor reactions, poor eyesight, inconsistency of height with the dimensions of the equipment, etc.) with the requirements of the work. Such a division of psychophysiological (psychophysical) causes allows us to outline the main methods of their elimination.

This classification provides a real opportunity, in accordance with each group of causes of dangerous situations and accidents, to assign a group of preventive measures in each part thanks to: - organization of labor protection work: oriented part - training, practice of skills; executive - professional selection, medical examination; motivational part - propaganda and education; – self-prevention of industrial injuries: indicative part

– the ability to avoid risk; executive part - endurance and patience; the motivational part – self-preservation of life, self-education, ability to control one's behaviour at the workplace, etc.

In real production conditions, where a person participates, it is impossible to ensure the ideal flow of labor activity. Due to the reasons already indicated and discussed in more details below, a person allows incorrect (inaccurate, erroneous, untimely) actions, omission of necessary actions, careless actions, etc. Some of them do not have a noticeable impact on work performance; the other part affects the quality of products; the third – creates a dangerous situation which is one step away from an accident. We will define this part of wrong actions as dangerous actions.

Any dangerous action, as the research has shown, can be the result of one or a group of causes. For example, an incorrect assessment of the condition of the serviced installation may be the result of a lack of professional knowledge or the sickness of an employee, or the lack of the necessary time for this operation, or simply ignoring the requirements for checking the condition of the installation by an employee.

Table 4

Reasons for dangerous actions of employees

Classes of causes	Direct reasons	Reasons for higher levels (organizational reasons)
A. doesn't know how	Does not have the necessary (for this profession, job) professional knowledge. Does not possess special methods, techniques, skills. Not capable of learning, self-learning, memorization.	Inefficient system of training, instruction, training, control of knowledge and skills. Inefficient professional selection system.
B. does not want	Negative attitude to safety requirements performance. Bad faith. Irresponsibility. Indiscipline. Passivity. Propensity to risk. Motivation that leads to violations of security requirements.	Inefficient professional selection system. Inefficient incentive system. Ineffective system of propaganda and education. Abnormal psychological climate in a team (in a family).

		Inefficient (according to safety criteria) system of labor payment. Low production culture.
C. not able to	<p>Temporary or chronic deterioration of health, fatigue, nervous breakdown, etc. Emotional instability. Impulsiveness. Timidity Inattention. Alcoholic (narcotic) intoxication. Physical weakness. Slowness of psychomotor reactions. Disadvantages of vision. Underdeveloped eye. Daltonism. Deafness Not able to differentiate sounds. Weak memory. Weak operational thinking.</p>	<p>Inefficient professional selection system. Inefficient system of treatment and prevention and rehabilitation measures. Unsatisfactory psychological climate in a team (in a family).</p>
D. not provided with	<p>Insecurity with tools, materials, etc. Inconsistency of conditions at a workplace with sanitary and hygienic requirements Lack of time Failure to provide information about the situation at the workplace, about the dangers of future work, etc.</p>	<p>Unsatisfactory work organization. Inefficient system of ensuring and monitoring of workplaces. Inefficient system of providing operational information.</p>

Summarizing the materials of investigations of industrial accidents allows all the variety of direct causes of dangerous actions to be reduced to 4 groups (classes) of causes:

A. Does not know how - it means that an employee does not have the necessary knowledge for this job; did not master the relevant skills, techniques, methods.

B. Does not want to, that is, an employee knows how to perform this work (operation) qualitatively and safely, but he has no desire to comply with safety

requirements. In other words, there is no motivation. The psychological attitude to these requirements is not developed.

C. Not able to - it means that an employee is in such a physical or psychological state that, despite his ability and desire, he allows a dangerous action to happen.

D. Not provided with. An employee does not perform the ordered action due to the failure to be provided with the necessary tools, materials, devices, information, etc.

Directions for solving professional development of employees are given in Table 5

Table 5

Problems of providing motivation of the company employees professional development and their solutions

Reasons for non-compliance with safety rules	Reasons for dangerous behavior	Recommendations for increasing motivation
A. Doesn't know how. An employee does not have the necessary knowledge, relevant skills, methods, techniques for this job	<ol style="list-style-type: none"> 1. Low level of professional competence. 2. Lack of practical experience. 3. Inefficiency of training. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Improvement of the mentoring institute. 2. Use of innovative forms of training, instruction, knowledge control and skill. 3. Improvement of the professional selection system.
B. Doesn't want to. An employee knows how to perform the work (operation) qualitatively and safely, but he does not have the desire to comply with safety requirements, that is, he has no motivation. The psychological attitude to comply with these requirements is not developed.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problems in relations with the manager or colleagues. 2. Frequent performance of duties beyond the job description. 3. Ineffective (excessive or insufficient) control. 4. Lack of clear division of responsibility between employees 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Updating and creative rethinking of the existing motivation system to meet the needs of employees of a particular organization. 2. Identifying and encouraging employees with a high level of motivation. 3. Improvement of qualified personnel selection system. 4. Increasing the efficiency of the organization and remuneration system. 5. Organization of employees' feedback to managers.
C. Not able to. An employee is in such a physical or psychological state	<ol style="list-style-type: none"> 1. Feeling unwell. 2. Unfavorable emotional and psychological state of a person. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Improving the moral and psychological climate in a team. 2. Development of measures aimed at preventing such negative

Continuation of table 5

<p>that, despite the ability and desire, allows a dangerous act take place.</p>	<p>3. Psychophysiological characteristics of an employee (fear, inattention, weak memory, slowness of psychomotor reactions, etc.)</p>	<p>phenomena among employees as the occurrence of severe stress or professional burnout. 3. Development of a program of work with families of violators of labor protection requirements. 4. Search for reserves for improving labor organization. 5. Improvement of qualified personnel selection system (taking into account the psychological compatibility of employees).</p>
<p>D. Not provided with. An employee does not follow the rules, since he is not provided with necessary conditions (tools, materials, devices, information, etc.).</p>	<p>1. Lack or inadequate quality of personal protective equipment. 2. Imperfection or non-compliance with the technological process. 3. Depreciation of machines, equipment, mechanisms. 4. Absence or inadequate quality of tools and materials. 5. Unfavorable working conditions. 6. Lack of time (rush).</p>	<p>1. Search for reserves for improvement of production and labour organization 2. Improvement of material and technical support system of an enterprise. 3. Involvement (opinion study) of employees when making decisions regarding the selection of personal protective equipment, tools, etc. 4. Increasing the efficiency of the information support system</p>

The first three groups of reasons (A, B, C) take place due to the individual and personal characteristics (qualities) of an employee. In general, these reasons are called a human factor. The fourth group of direct causes is a factor external to an employee, in other words, it is the production environment in which an employee's activity takes place.

All four selected groups of direct causes of dangerous actions, in turn, are the consequence of causes of a higher level, which should be attributed to the sphere of organization and production management. Usually these reasons are defined as organizational.

The first three elements in their unity are what is called the "human factor" (they shape the safe behavior of an employee). The fourth element ("secured") includes

sanitary-hygienic and material-technical working conditions that meet the requirements of labor protection and scientific organization of work at an enterprise.

Our research is devoted to the rational use of human resources in matters of safety, formation and enhancement of corporate security culture, the synergies combination of human resources and a corporate system of labor safety culture at an enterprise.

In this perspective, we consider it appropriate to describe the Characterization of safety culture levels according to the Hudson model [430,437] is given in Table 6.

Table 6

Characterization of safety culture levels according to the Hudson model

Level of safety culture	Characteristics
Progressive	All employees are consciously involved and interested in the continuous improvement of industrial safety. Assessment of risks, measures to eliminate them are worked out to the point of automation. There is constant exchange of knowledge, improvement of the occupational safety management system. Workers have developed a conscious attitude to safe behavior.
Proactive	Employees are involved in all processes that form industrial safety and consider it as their duty to work without incidents and injuries. The purpose of the investigation is to eliminate the cause of violations. Potentially dangerous events are used as important indicators. The emphasis is made on incident prevention.
Attractive	Employees understand the value of safety. Industrial safety is the responsibility not only of the labor protection service, but also of the management. Most workers are involved in occupational safety processes, know and can use basic tools. The main processes such as risk analysis, risk assessment, incident investigation have been developed and they work.
Reactive	The work of labor protection services is aimed at eliminating the consequences of accidents, not at preventing them. Workers do not participate in processes to improve safety. Injury is the responsibility of the labor protection service. Accident investigations are conducted, but the task is to find the culprit, not to eliminate the systemic cause. There is a certain part of risk assessment, conducting audits, training, certification, etc.
Pathologic	Minimum compliance with rules and requirements. The focus is on not being caught in the act. Violations and injuries are not reported. Industrial safety is not dealt with at all or is dealt with formally. Accidents are not investigated, They are kept silent. In most cases a worker is blamed.

Safety culture in relation to enterprises and employees means a set of characteristics and relationships that establish such an order that issues of protection

and safety are given the attention that corresponds to their real importance. Since safety and production culture from the standpoint of activity theory are inextricably linked with people's behavior (for production - with personnel behavior), the main thing in production and safety culture is the internal motivation and internal competence of personnel. It cannot be bought on the side or even leased. It can only be created.

The basis of employee management today is based on new principles: not to limit but to direct, not to prohibit but to help, not to command but to manage. Therefore, today it is very important for all managers of all branches to be aware of this. Management of enterprise development can be effective only when the application of modern scientific technologies, innovative methods, development of new mechanisms cannot exist in isolation from the social and labor groups. In this context, safety culture is definitely an engine. It is based on the desire to find and maintain a dynamic balance between development (innovation) and maximum sustainability. The creation and maintenance of such a culture relies on the ability for prospective reflection and the will to live, expressed in actions.

The formation and effectiveness of a corporate security culture involves: recognizing an important role of effective safety measures; developing the correct perception of employees' positive safety practice; awareness of the relationship of safety with the basic goals of activity; a clear definition of security as one of the basic values, not an obligation or article of burdensome costs.

All this is the key to the progressive position of an enterprise from the point of view of both the culture of occupational safety and from the standpoint of success and efficiency of production activity and the preservation of the most important intangible resource - "human capital".

SECTION 10. MECHANICS

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.10.1

10.1 Динаміка тонкостінних тришарових неоднорідних канонічних оболонкових структур при нестационарних навантаженнях

Значний прогрес в машинобудуванні, космічній, будівельній та інших галузях техніки, що спостерігається останнім часом в значній мірі став результатом використання в конструкціях машин і механізмів елементів шаруватих оболонкових структур. При цьому зросла потреба зменшення металоємності таких конструкцій при одночасному збереженні їх несучої здатності і довговічності. Позитивним в цьому відношенні стали результати пошуків оптимальних конструкційних рішень самих оболонкових структур. І, якщо в даний час ця проблема вважається практично вирішеною для симетричних однорідних оболонкових структур [438-443], то для несиметричних неоднорідних конструкції їх шарового пакету, вона потребує додаткових досліджень.

Динамічні процеси є визначальними при розрахунку поведінки конструкцій шаруватих структур. А їх оцінка являється надзвичайно важливою мірою точності розв'язку задачі. На даний час проблема дослідження нестационарних динамічних процесів шаруватих оболонкових структур для оцінки їх працездатності при динамічних навантаженнях є достатньо актуальною. Особливо це стосується складних і відповідальних конструктивних елементів ракетно-космічної техніки.

Мета даної роботи - накопичування досвіду чисельних розрахунків напружено-деформованого стану тонкостінних шаруватих оболонкових структур різної форми з конструкційними особливостями при нестационарних навантаженнях [444-447]. Враховуючи відносну простоту і практичність конструкційних рішень таких оболонкових структур даний етап досліджень доцільно виконати з використанням тришарової циліндричної оболонки кругового нормального перетину.

Розв'язуються задачі динамічного деформування циліндричної шаруватої оболонки. Визначаються параметри характеристик напружено-деформованого стану тришарової оболонки, яка представляє собою пружну структуру, що складається (рис. 1) з внутрішнього (1) і зовнішнього (3) несучих шарів, полімерного заповнювача (2), армованого ребрами (4),

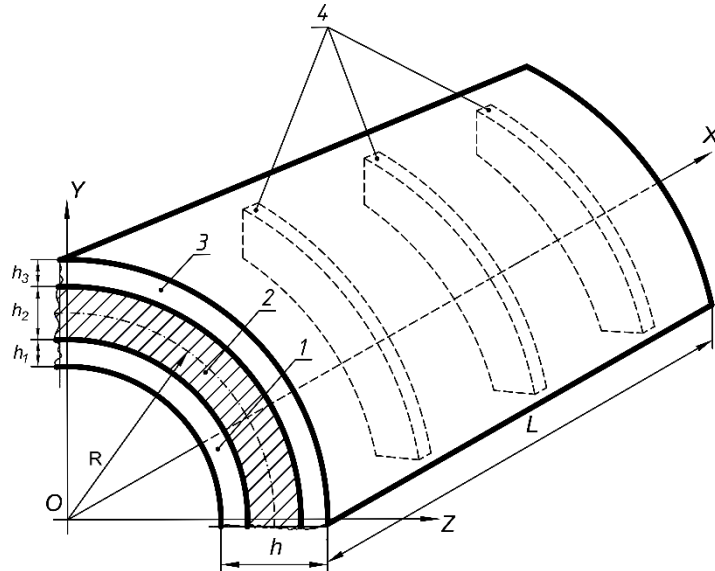


Рисунок 1. Конструкція тришарової оболонки:

1 – внутрішній шар; 2 – заповнювач; 3 – зовнішній шар; 4 – армуючі ребра і знаходиться під дією внутрішнього імпульсного осесиметричного навантаження.

$$P_3 = A \cdot \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)] \quad (1.1)$$

де: A – амплітуда навантаження; T – тривалість імпульсу навантаження; $\eta(t)$ – функція Хевісайда.

В розрахунках приймалося $A = 10^6$ Па; $T = 50 \cdot 10^{-6}$ Па.

У випадку несиметричної тришарової циліндричної оболонки з дискретним армованим заповнювачем по лініях кривизни оболонки, рівняння коливань мають вид

$$\frac{\partial T_{11}^1}{\partial x} + \frac{T_{13}^t}{R_{li}} - \frac{4}{h_i^2} M_{13}^t = \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_1^i}{\partial t^2};$$

$$\frac{\partial M_{11}^1}{\partial x} - \frac{T_{13}^t}{R_{li}} + \frac{2h}{h_i^2} M_{13}^t = \rho_i \frac{h_i^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial t^2}; \quad i = 1, 2$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{13}^i}{\partial x} - \frac{T_{11}^i}{R_{1i}} - \frac{1}{R_{1i}h_i} M_{11}^i + \frac{1}{h_i} \frac{\partial M_{13}^i}{\partial x} - (1 \pm \frac{h_i}{2R_{1i}}) P_i &= \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_{30}^i}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial T_{11}^i}{\partial x} + \frac{1}{R_{1i}} (T_{11}^i - T_{13}^i) + \frac{8}{h_i^2} M_{13}^i &= \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_{10}^i}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial M_{11}^i}{\partial x} - T_{13}^i + \frac{1}{R_{1i}} M_{13}^i &= \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_{11}^i}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial T_{11}^2}{\partial x} - \frac{T_{13}^2}{R_2} &= (\rho_2 h_2 + \frac{\rho_i h_i}{3}) \frac{\partial^2 u_1^2}{\partial t^2} \\ \frac{\partial T_{13}^i}{\partial x} - \frac{1}{R_i} T_{11}^i &= \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_{03}^i}{\partial t^2}; \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$[T_{11}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{1j}}{\partial t^2}; [T_{13}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{3j}}{\partial t^2}; [M_{11}]_j = \rho_j I_{krj} \frac{\partial^2 \varphi_{1j}}{\partial t^2}$$

При жорсткому закріпленні країв оболонки граничні умови при $x=0$; $x=L$ (L - довжина оболонки) поклалися:

$$u_1^i(0, t) = u_3^i(0, t) = 0; \quad i = 1, 2$$

$$u_1^i(L, t) = u_3^i(L, t) = 0; \quad i = 1, 2$$

Початкові умови приймалися нульовими:

$$u_1^i(x, 0) = \frac{\partial u_1^i(x, 0)}{\partial t} = 0; \quad i = 1, 2$$

$$u_3^i(x, 0) = \frac{\partial u_3^i(x, 0)}{\partial t} = 0; \quad i = 1, 2$$

Враховуючи неоднаковість властивостей матеріалів суміжних шарів досліджуваної неоднорідної оболонкової структури задачі її динамічного аналізу розв'язувалися скінченно-елементним методом [448]. Для виконання чисельних розрахунків була створена скінченно-елементна модель структури, приведена на рис. 2.

В скінченно-елементній моделі використовувався тривимірний об'ємний скінченний елемент типу *Solid*, який по критеріям якості: звуженню і

викривленню, внутрішнім кутам та інших показниках, відповідав вимогам забезпечення розрахункової сітки на скінченно-елементному рівні [449].

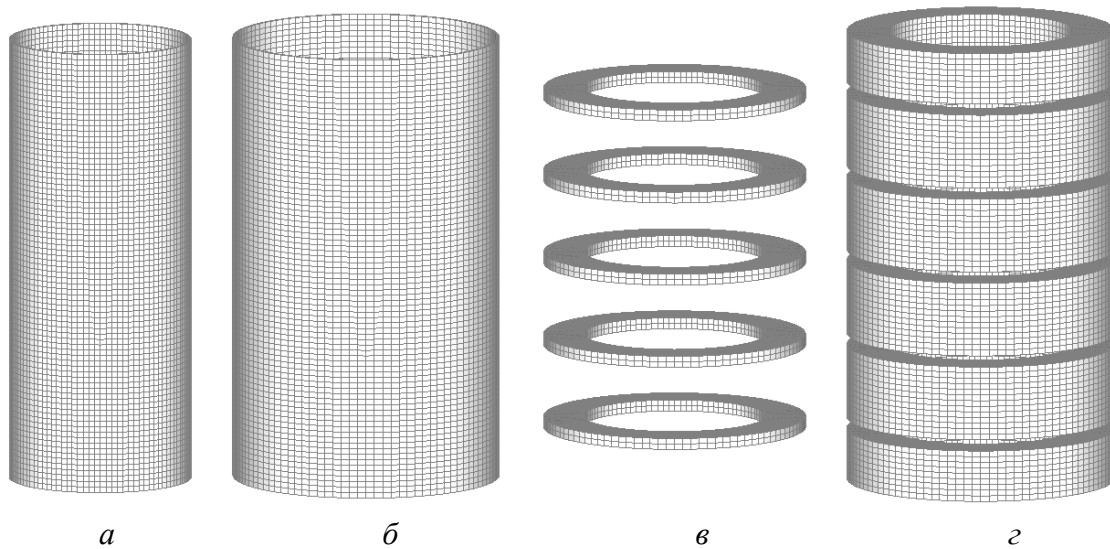


Рисунок 2. Скінченно-елементна модель структури:

a - внутрішня несуча оболонка; *б* - зовнішня несуча оболонка;

в – армуючі ребра; *г* - легкий заповнювач

Модель тришарової циліндричної структури налічувала у внутрішній несучій оболонці 16000 елементів, у зовнішній – 16000, а в армуючих ребрах – 18000. Кількість скінченних елементів легкого заповнювача дорівнювала 126000. Загальна кількість скінченних елементів у моделі складала 176000 елементів і 186300 вузлів.

Підкріплюючі ребра в моделі розташовувалися в наступних точках

Розглянемо три випадки динамічної поведінки тришарової циліндричної оболонки при нестационарному навантаженні в часовому інтервалі $0 \leq t \leq 40T$. Кожен з цих випадків включає два варіанти чисельних розрахунків показників напружено-деформованого стану при різних фізико-механічних параметрах легкого заповнювача: перший $E_1/E_t = 500$ і другий $E_1/E_t = 50$.

У першому випадку структура задавалась з наступними геометричними і фізико-механічними параметрами: $h_1 = h_2 = 0,002\text{ м}$; $L/h_1 = 200$; $R = 0,18\text{ м}$; $R/h = 4,5$; $H_j/h_1 = 18$; $F_j = 3,6 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2$; модулі пружності несучих шарів і армуючих ребер $E_1^1 = E_1^2 = E_j = 7 \cdot 10^{10}\text{ Па}$; коефіцієнт Пуассона $\nu_1^1 = \nu_1^2 = \nu_j = 0,33$; $\rho_1 = \rho_2 = \rho_j = 2,7 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$;

Параметри для легкого заповнювача були наступні: щільність $\rho_t = 25$ кг/м³; модуль пружності $E_t = 1,4 \cdot 10^8$ Па і $E_l = 1,4 \cdot 10^9$ Па; коефіцієнт Пуассона $\nu_t = 0,3$;

Таким чином досліджувалась циліндрична симетрична тришарова оболонка з легким заповнювачем, навантажена внутрішнім імпульсним тиском.

Позначення індексів були наступними: 1 - внутрішній несучий шар, t - легкий заповнювач, j - армируючі ребра, 2 - зовнішній несучий шар;

Розрахунки максимальних величин нормальних прогинів u_3 і нормальних напружень σ_{22} в серединній поверхні несучих шарів оболонки були проведені у програмно-розрахунковому комплексі *Nastran* алгоритмом прямого перехідного динамічного процесу.

Отримані результати представлені на рис. 3 - 8. Враховуючи, що вихідна задача є багатопараметричною (кінематичні та силові параметри приймають різні значення по координаті X) в подальшому розглядалися залежності вихідних величин при досягнення ними максимальних значень за модулем. На рис.3а у наведеному масштабі показані порівняльні

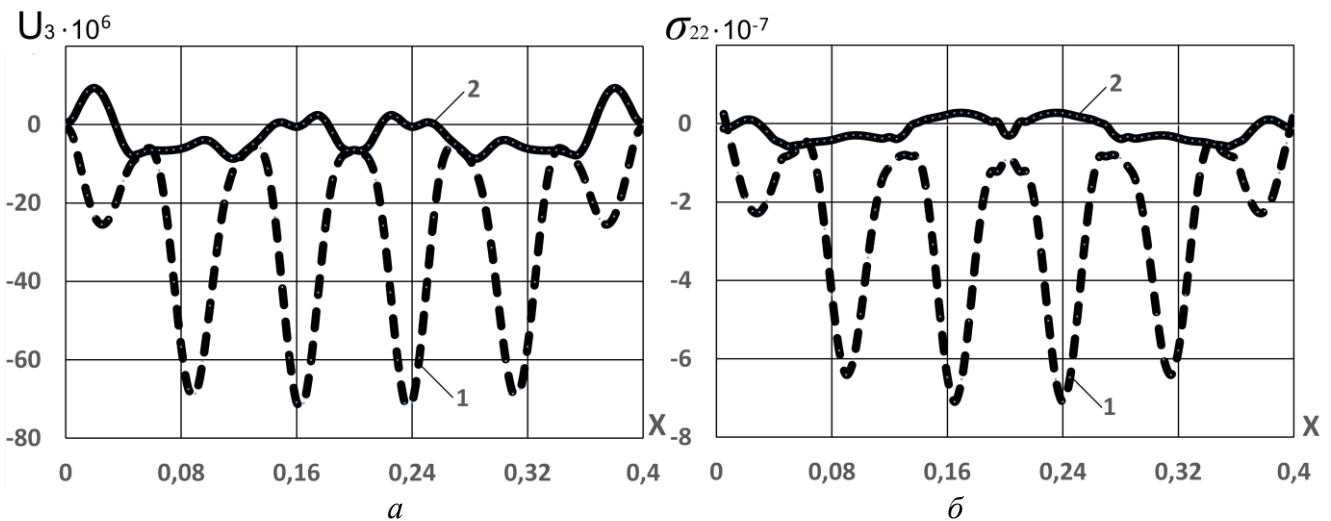


Рисунок 3. Максимальні прогини $u_3^1; u_3^2$ і напруження $\sigma_{22}^1; \sigma_{22}^2$ в серединній поверхні несучих шарів при $E_{1,2}/E_t = 500$

графіки максимальних прогинів коливальних процесів у серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 5,1$ Т (у цей момент часу величини досягають максимального значення в розрахунковому інтервалі часу t). Крива з індексом 1 відповідає прогину u_3^1 внутрішнього шару, а з

індексом 2 - u_3^2 зовнішнього шару. Дискретність розміщення армуючих ребер візуально спостерігається на рисунку - це ділянки максимального зближення кривих з індексами 1 і 2. Перші п'ять власних частот цієї тришарової структури становлять: $f_1=1832,019$ Гц, $f_2=1832,019$ Гц, $f_3=2565,975$ Гц, $f_4=2565,979$ Гц, $f_5=2769,585$ Гц.

На рис.3б наведені порівняльні графіки максимальних напружень $\sigma_{22}^1(1)$, $\sigma_{22}^2(2)$ в серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 5,1T$ (у цей момент величини досягають максимального значення в розрахунковому інтервалі часу t).

На рис. 4а наведено порівняльні графіки максимальних прогинів коливальних процесів у серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 10,15T$. На рис. 4б наведені порівняльні графіки максимальних напружень $\sigma_{22}^1(1)$, $\sigma_{22}^2(2)$ в цей же момент часу.

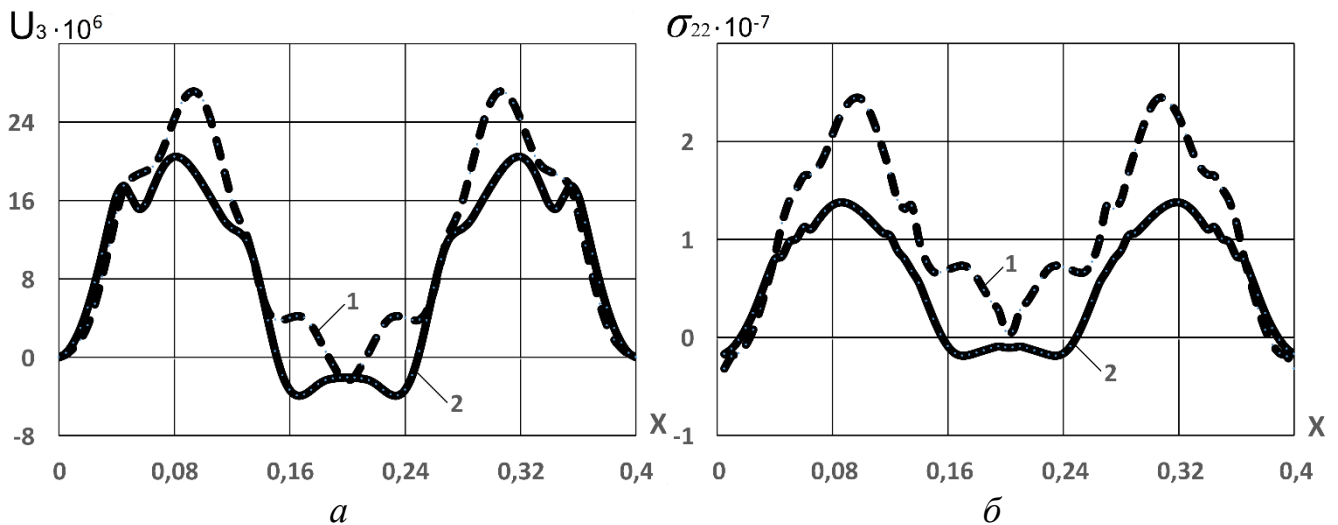


Рисунок 4. Максимальні прогини u_3^1 ; u_3^2 і напруження σ_{22}^1 ; σ_{22}^2 в серединній поверхні несучих шарів при $E_{1,2}/E_t = 50$

Перші п'ять власних частот даної тришарової структури становлять: $f_1=2047,017$ Гц, $f_2=2047,017$ Гц, $f_3=2484,977$ Гц, $f_4=2484,979$ Гц, $f_5=3007,011$ Гц.

З аналізу чисельних результатів характеристик напружено-деформованого стану в серединних поверхнях оболонкової структури однорідної симетричної конструкції в першому випадку (рис. 3а, 4а) максимальні прогини внутрішнього

шару u_3^1 у варіанті співвідношення $E_1/E_t=500$ перевищили аналогічні прогини u_3^1 структури при співвідношенні $E_1/E_t=50$ майже в 2,62 рази, а максимальні прогини u_3^2 зовнішнього шару при відповідних варіантах – були меншими в 2,19 рази.

В той же час (рис. 3б, 4б) і максимальні величини нормального напруження внутрішнього шару σ_{22}^1 у варіанті співвідношення $E_1/E_t=500$ перевищили аналогічні напруження σ_{22}^1 структури при співвідношенні $E_1/E_t=50$ майже в 2,7 рази, а максимальні напруження σ_{22}^2 зовнішнього шару при розгляді відповідних варіантів цього випадку були меншими приблизно в 2,5 рази.

У другому випадку при незмінній геометрії, структура оболонки мала наступні фізико-механічні параметри: $h_1 = h_2 = 0,002\text{ м}$; $L/h_1 = 200$; $R = 0,18\text{ м}$; $R/h = 4,5$; $H_j/h_1 = 18$; $F_j = 3,6 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2$; модулі пружності несучих шарів і армуючих ребер $E_1^1 = 2,1 \cdot 10^{11}\text{ Па}$; $E_1^2 = E_j = 7 \cdot 10^{10}\text{ Па}$; коефіцієнт Пуассона $\nu_1^1 = \nu_1^2 = \nu_j = 0,3$; $\rho_1 = 7,8 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = \rho_j = 2,7 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$;

Параметри для легкого заповнювача були наступні: модуль пружності $E_t = 1,4 \cdot 10^8\text{ Па}$ і $E_t = 1,4 \cdot 10^9\text{ Па}$; коефіцієнт Пуассона $\nu_t = 0,33$; щільність $\rho_t = 25\text{ кг/м}^3$;

На рис. 5а зображені порівняльні графіки максимальних прогинів коливальних процесів у серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент досягнення максимального значення в розрахунковому інтервалі часу при $t = 10,85T$. В цьому варіанті співвідношення модулів пружності складає $E_2/E_t=500$. Крива з індексом 1 відповідає прогину u_3^1 внутрішнього шару, а з індексом 2 - u_3^2 зовнішнього шару. Перші п'ять власних частот даної тришарової структури становлять: $f_1=2047,017\text{ Гц}$, $f_2=2047,017\text{ Гц}$, $f_3=2484,977\text{ Гц}$, $f_4=2484,979\text{ Гц}$, $f_5=3007,011\text{ Гц}$.

На рис. 5б наведені порівняльні графіки максимальних напружень σ_{22}^1 (1), σ_{22}^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 10,85T$.

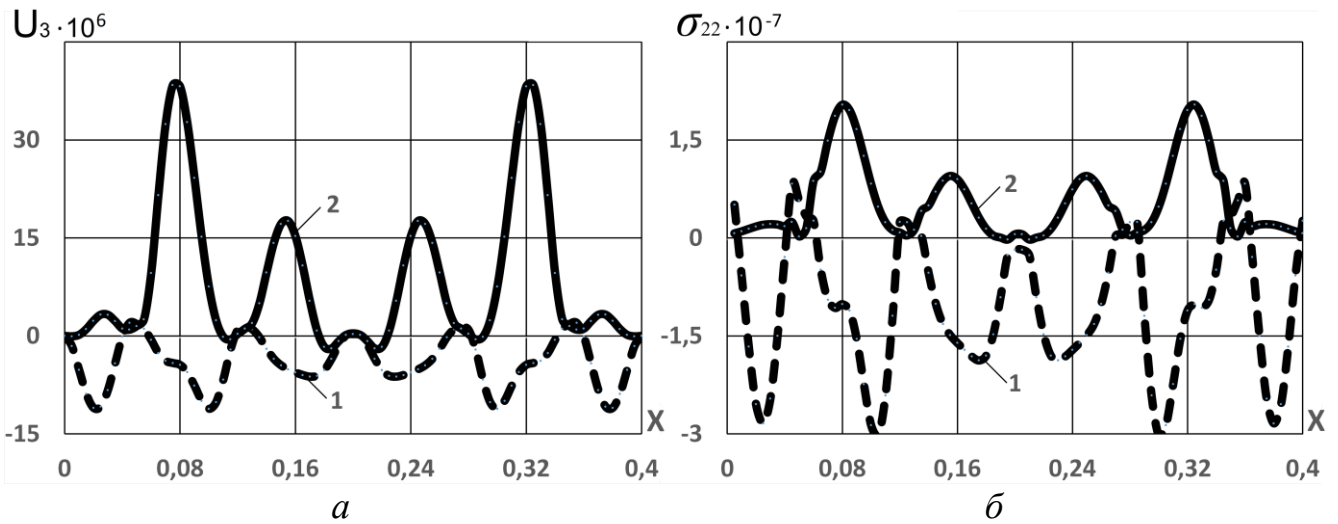


Рисунок 5. Максимальні прогини $u_3^1; u_3^2$ і напруження $\sigma_{22}^1; \sigma_{22}^2$ в серединній поверхні несучих шарів при $E_2/E_1 = 500$

На рис. 6а наведені графіки максимальних прогинів коливальних процесів у серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент

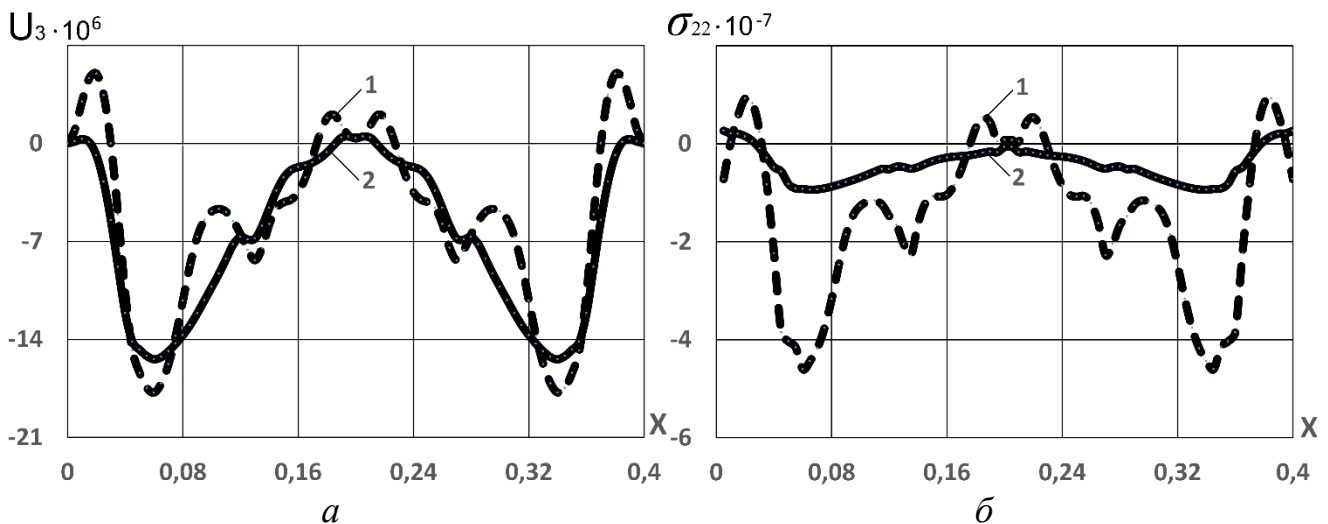


Рисунок 6. Максимальні прогини $u_3^1; u_3^2$ і напруження $\sigma_{22}^1; \sigma_{22}^2$ в серединній серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 10,7T$.

В цьому варіанті співвідношення модулів пружності складає $E_2/E_1 = 50$. Перші п'ять власних частот даної тришарової структури становлять: $f_1=2241,238 \text{ Гц}, f_2=2241,238 \text{ Гц}, f_3=2997,924 \text{ Гц}, f_4=2997,926 \text{ Гц}, f_5=3167,348 \text{ Гц}$.

На рис. 6б наведені графіки максимальних напружень σ_{22}^1 (1), σ_{22}^2 (2) в поверхні несучих шарів при $E_2/E_1 = 50$.

Аналізуючи отримані чисельні результати показників напружено-деформованого стану в серединних поверхнях несиметричної структури другого

випадку (рис. 5а, 6а) видно, що максимальні прогини внутрішнього шару u_3^1 у варіанті співвідношення $E_2/E_1=500$ були меншими аналогічних прогинів u_3^1 структури при співвідношенні $E_2/E_1=50$ майже на 59%, а максимальні прогини u_3^2 зовнішнього шару, при розгляді відповідних варіантів цього випадку, перевищили майже в 2,5 рази аналогічні прогини u_3^1 структури при співвідношенні $E_2/E_1=50$.

Максимальні величини нормального напруження внутрішнього шару σ_{22}^1 (рис. 5б, 6б) у варіанті співвідношення $E_1/E_2=500$ перевищили аналогічні напруження σ_{22}^1 структури при співвідношенні модулів $E_2/E_1=50$ майже на 50%, а максимальні напруження σ_{22}^2 зовнішнього шару при розгляді відповідних варіантів цього випадку були більшими у 2,25 раз.

У останньому випадку досліджень геометричні і фізико-механічні параметрами структури становили: $h_1=0,004\text{м}$; $h_2=0,002\text{м}$; $L/h_1=200$; $R=0,18\text{м}$; $R/h=4,5$; $H_j/h_1=17$; $F_j=3,4\cdot 10^{-4}\text{м}^2$;
модулі пружності несучих шарів і армуючих ребер $E_1^1=E_1^2=E_j=7\cdot 10^{10}\text{Па}$;
коефіцієнт Пуассона $\nu_1^1=\nu_1^2=\nu_j=0,3$; $\rho_1=2,7\cdot 10^3\text{кг/м}^3$; $\rho_2=\rho_j=2,7\cdot 10^3\text{кг/м}^3$; Параметри легкого заповнювача були наступні: модуль пружності $E_t=1,4\cdot 10^8\text{Па}$ і $E_t=1,4\cdot 10^9\text{Па}$;
коефіцієнт Пуассона $\nu_t=0,33$; щільність $\rho_t=25\text{кг/м}^3$;

На рис. 7а наведені графіки максимальних прогинів коливальних процесів у серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t=8,5T$. В цьому варіанті співвідношення модулів пружності складає $E_1/E_2=500$.

Перші п'ять власних частот цієї тришарової структури становлять:
 $f_1=2002,535\text{Гц}$, $f_2=2002,535\text{Гц}$, $f_3=2580,187\text{Гц}$, $f_4=2580,190\text{Гц}$, $f_5=2945,287\text{Гц}$.

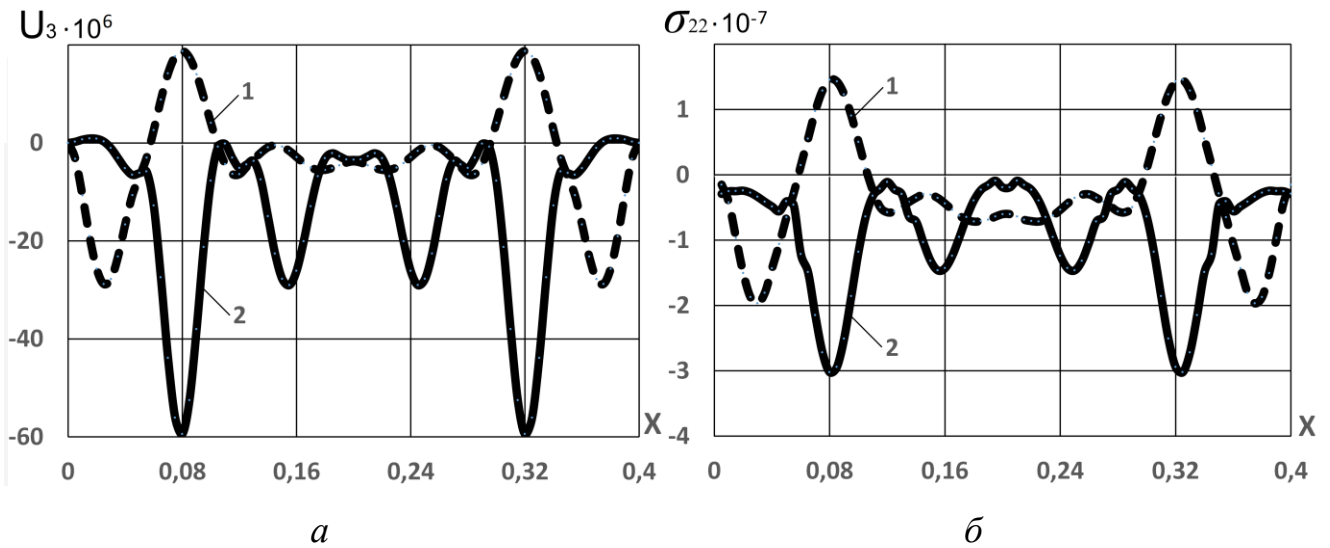


Рисунок 7. Максимальні прогини $u_3^1; u_3^2$ і напруження $\sigma_{22}^1; \sigma_{22}^2$ в серединній поверхні несучих шарів при $E_1/E_t = 500$

На рис. 7б наведені графіки максимальних напружень σ_{22}^1 (1), σ_{22}^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 8,5T$.

На рис. 8а наведені графіки максимальних прогинів коливальних процесів

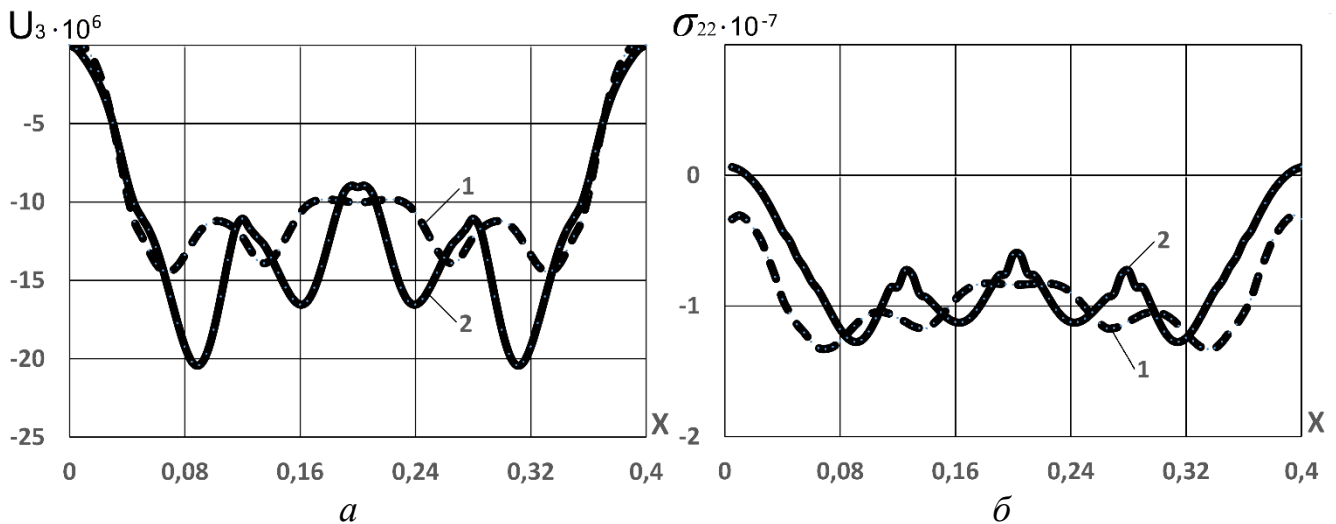


Рисунок 8. Максимальні прогини $u_3^1; u_3^2$ і напруження $\sigma_{22}^1; \sigma_{22}^2$ в серединній поверхні несучих шарів при $E_1/E_t = 50$

у серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 4,5T$. В цьому варіанті структури співвідношення модулів пружності складає $E_{1,2}/E_t = 50$.

Перші п'ять власних частот цієї тришарової структури становлять:
 $f_1=2217,801 \text{ Гц}$, $f_2=2217,801 \text{ Гц}$, $f_3= 3061,14 \text{ Гц}$, $f_4= 3061,142 \text{ Гц}$, $f_5= 3118,392 \text{ Гц}$.

На рис. 8б наведені графіки максимальних напружень σ_{22}^1 (1), σ_{22}^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів від просторової координати x в момент часу $t = 4,5T$.

Аналіз отриманих результатів дослідження напружено-деформованого стану в серединних поверхнях несиметричної за товщиною несучих шарів тришарової структури останнього випадку (рис. 7а, 8а) показує, що у варіанті оболонки з співвідношенням $E_{1,2}/E_t=500$ більшими за величиною були максимальні прогини зовнішнього шару u_3^2 по відношенню до внутрішнього шару u_3^1 оболонки.

Порівнюючи показники характеристик НДС варіантів структур з різною пружністю заповнювача видно, що при $E_{1,2}/E_t=500$ максимальні прогини зовнішнього шару u_3^2 перевищили аналогічні прогини u_3^1 структури з заповнювачем $E_{1,2}/E_t=50$ в 2,9 рази, при цьому максимальні прогини u_3^1 внутрішніх шарів у даних варіантах відрізнялися в 2 рази.

Максимальні нормальні напруження внутрішнього шару σ_{22}^1 (рис. 7б, 8б) при співвідношенні $E_{1,2}/E_t=500$ перевищили аналогічні напруження σ_{22}^1 структури співвідношенням $E_{1,2}/E_t=50$ в 1,6 раз, а максимальні напруження σ_{22}^2 зовнішнього шару першого варіанту перевищили аналогічні напруження σ_{22}^2 зовнішнього шару другого варіанту структури майже у 2,4 рази.

Отже, загальною тенденцією всіх розглянутих випадків дослідження динаміки тришарової циліндричної оболонкової структури виявилось значне реагування нею на зміну модуля пружності легкого заповнювача, величина якого істотно впливає на її характер коливань.

Досліджено вплив геометричних параметрів і фізико-механічних властивостей матеріалу несучих шарів тришарових циліндричних оболонкових структур на їх напружено-деформований стан при осесиметричному

внутрішньому нестационарному навантаженні. При аналізі елементів пружних структур використано модель теорії оболонок та стрижнів Тимошенко [450]. Чисельні розрахунки максимальних величин нормальних прогинів u_3 і нормальних напружень σ_{22} в серединних поверхнях несучих шарів оболонок, отримані скінченно-елементним методом, показують що параметри геометрії несучих шарів структури, фізико-механічні властивості їх матеріалу і пружність заповнювача значно впливають на динаміку коливальних процесів циліндричних оболонкових структур.

SECTION 11. METALLURGY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.11.1

11.1 Розробка та отримання порошкових композиційних матеріалів та покриттів на основі тугоплавких сполук

Причина низького ресурсу деталей машин пов'язана зі зносом і корозійним пошкодженням їх поверхневих шарів. Робочі деталі сільськогосподарських машин працюють у контакті з абразивним середовищем, деталі різних механізмів та пристроїв, найчастіше, взаємодіють із навколишнім агресивним середовищем та технологічними середовищами, що застосовуються у виробничому процесі під час виготовлення продукції. Тому проблема створення ефективних захисних покриттів на поверхні деталей машин є актуальною. Самопоширюваний високотемпературний синтез (СВС) є одним з найбільш перспективних напрямків у створенні нових композиційних матеріалів [451-453].

Також широко застосовується метод механічної активації [454-456], який дозволяє синтезувати матеріали, що мають підвищені фізико-хімічні та механічні властивості. В результаті механічного впливу в металі виникають внутрішні напруги, відбувається утворення та накопичення дефектів кристалічних ґраток. При обробці матеріалів у кульових млинах створюються умови для протікання механохімічних реакцій безпосередньо в них або за подальшої термічної активації перетворень у механокомпозитах, отриманих активацією двох та більше компонентів [454,455].

Продуктами механічної обробки зазвичай є порошки розміром кілька десятків мікронів. На перших етапах механічної обробки з вихідних сумішей порошкових матеріалів утворюються так звані "шаруваті композити". При обробці з високою інтенсивністю порошки мають більш подрібнену структуру і складаються із зерен з нанорозмірними включеннями, тобто є нанокомпозиційними структурами. Методи механічної активації в планетарних кульових млинах надають широкі можливості для синтезу нанокомпозитних порошків. Причому, у багатьох випадках фазовий склад та мікроструктура,

отриманих таким шляхом нанокompозитів, не можуть бути досягнуті іншими методами синтезу. Додавання матричного матеріалу змінює реакційну здатність речовин-реагентів. Матриця може виступати в ролі компонента, з яким вихідні реагенти утворюють сполуки або розчини, більш хімічно активні в порівнянні з вихідними реагентами. Якщо реакція здійснюється у просторі, створюваному структурою матриці, то матриця відіграє роль реактора, що обмежує реакційний простір і орієнтує.

Використання матриць забезпечує стабілізацію дрібнодисперсних частинок. Застосування наноматеріалів ускладнено через метастабільність речовини, що пов'язано зі значним збільшенням питомої поверхні частинок у міру зменшення їх лінійних розмірів до нанометрових, зростання хімічної активності та посилення агрегації. Для вирішення цієї проблеми застосовуються методи одержання нанокompозиційних матеріалів у хімічно інертній матриці. Це дозволяє запобігти агрегації наночастинок та захистити їх від зовнішнього впливу.

Матрицею може бути і компонент, що хімічно інертний по відношенню до реагуючих речовин або не вступає з ними в реакцію і не змінюється в умовах синтезу. Роль матриці може зводитися до розведення суміші компонентів. При цьому є можливість вплинути на процеси зростання частинок продукту цільової реакції, і, отже, отримати частинки заданих розмірів. Як матриця-розріджувач реакційної суміші можуть виступати металеві системи. Металева матриця бере участь у процесах відведення тепла, що особливо важливо для екзотермічних реакцій. Введення металу-розріджувача в реакційну суміш знижує температуру, що розвивається у процесі реакції, змінюючи умови кристалізації продукту.

Найбільш простий спосіб синтезу композитів з металевою матрицею зводиться до змішування готових компонентів - частинок зміцнюючої фази та металу [454]. Результати значної кількості експериментальних робіт свідчать про перспективність синтезу зміцнюючої фази у присутності металу [455,456].

Синтез з'єднання в металевій матриці призводить до більш однорідної структури композитного продукту, в якому розмір і морфологію частинок можна варіювати, змінюючи вміст розріджувача.

Створено новий клас композиційних матеріалів для детонаційного напилення захисних покриттів, що складаються з металевої матриці та містять рівномірно розподілені в об'ємі синтезовані нанорозмірні (величина зерна близько 15-40 нм) керамічні частинки зміцнюючої дисперсної фази. Розроблено наукові основи отримання механохімічним способом багатокомпонентних композитів типу: $TiC+(Ni-Cr)$, $TiC+SiC+(Ni+Cr)$, $TiC+WC+(Ni+Cr)$, $TiC+SiC+WC+(Ni+Cr)$. Встановлено, що енергія активації реакції високотемпературного синтезу в механокомпозиті в досліджених системах залежить від ступеня розведення реагентів металом матриці та часу попередньої механоактивації і є аномально низькою для механоактивованих систем при зміні в інтервалі від 20 кДж/моль до 4,4 кДж/моль [457].

Розроблено багатокарбідні СВС-механокомпозити, що являють собою нові композиційні матеріали зі структурою типу «зміцнююча фаза – матриця». Застосування складів $TiC+(Ni-Cr)$, $TiC+SiC+(Ni+Cr)$, $TiC+WC+(Ni+Cr)$, $TiC+SiC+WC+(Ni+Cr)$ дозволяє за допомогою порошкового електрода сформувати зносостійке покриття на деталях сільськогосподарського машинобудування [452]. Встановлено залежності між вмістом, типом зміцнюючої фази та механічними властивостями поверхневих модифікованих шарів. Максимальну зносостійкість мають зразки, модифіковані за технологією електродугового наплавлення з використанням суміші складу «15%TiC+5%WC-ПР-Н70Х17С4Р4-3», отриманої за технологією механічної активації порошкової композиції та СВС.

Карбід титану (TiC) відноситься до безкисневих тугоплавких сполук, які є основою сучасних матеріалів, призначених для роботи в екстремальних умовах дії високих температур, тисків, швидкостей, агресивних середовищ тощо. В даний час все більшого значення набуває застосування порошків карбіду титану високої та особливо високої дисперсності (мікро- та нанопорошків), які

забезпечують суттєве покращення властивостей матеріалів на його основі. Основним способом виробництва карбіду титану є вуглетермічний спосіб його одержання з діоксиду титану, який характеризується великим енергоспоживанням на стадії тривалого синтезу в печах та при подрібненні спечених брикетів карбіду титану в розмольних агрегатах. Відкриття у 1967 році нового явища, що отримало назву «твердого полум'я» вигідно відрізняється від застосовуваних раніше способів малим споживанням енергії, високою продуктивністю та простим малогабаритним обладнанням.

Ця обставина призвела до створення нового високоефективного методу їх виробництва - самопоширюваного високотемпературного синтезу (СВС). Бор є одним із найефективніших мікролегуючих елементів. У більшості випадків мінімальна концентрація бору в металі для отримання позитивного результату становить близько тисячної масової частки відсотка. Унікальність бору полягає в тому, що при малому вмісті він здатний впливати на властивості матеріалу та еквівалентний дії значно більшої кількості таких легуючих елементів, як Сг, Мо, Ні та ін. Проте, існують певні труднощі з борним мікролегуванням, які досі залишаються невирішеними. Традиційним матеріалом, який використовується для борного легування сталі, є ферробор. Багаторічна практика застосування ферробору показала, що здійснити мікролегування сталі бором за його допомогою досить складно. Пов'язано це, в першу чергу, з високою реакційною здатністю бору в сталевому розплаві та його високою хімічною спорідненістю до кисню та азоту. Крім того, у більшості випадків потрібно забезпечити в металі край малу концентрацію розчиненого бору.

Одним з перспективних композиційних матеріалів є порошкові матеріали на основі титану. В якості вихідних матеріалів для отримання порошкових сумішей використовували порошки титану марки ВТ1-0, бору В, вуглецю марки ПМ-15 з метою синтезування карбіду і дибориду титану. Крім того, для збільшення теплового ефекту карбіду та дибориду титану в механічну суміш, вводиться порошок алюмінію нікелю, алюмінієвий порошок ПАП-1 ГОСТ 5494-95 та оксид заліза Fe_2O_3 . Фракційний склад всіх вихідних порошкових

компонентів знаходився в межах (63...100) мкм. Вибрані компоненти змішувалися, і отримана порошкова суміш піддавалась механічній активації. Вибір даного способу отримання матеріалів обумовлений необхідністю створення композитів, в мікрооб'ємах яких має відбуватися реакція СВС. Функцію матричного матеріалу виконував наплавний порошок, що самофлюсується, марки ПГ10Н-01 ТУ 322-19-004-96. Для отримання механоактивованих порошкових сумішей застосовувався метод механічної активації у планетарних кульових млинах АГО-2. У проведених експериментах об'єм барабанів – 160 см³, діаметр куль – 4-5 мм, маса куль 200 г. Час процесу механоактивації варіювався в діапазоні від 2 до 6 хвилин. Дугове наплавлення здійснювалося на заготовки зі сталі 20. Наплавлення виконували з використанням інверторного джерела живлення Патон ВДІ-200Р ОС Т1С.

Наплавну суміш отримували за такою технологією:

- змішування та механоактивація порошоків Т, В, С, Fe₂O₃, А1;
- домішка зв'язуючого - клей марки «Метилан»;
- формування циліндра та сушіння;
- ініціювання самопоширюваного високотемпературного синтезу;
- дроблення та механоактивація композиту, отриманого на першому етапі, та додавання матричного матеріалу ТТГ-10Н-01.

Наплавлення СВС-механокомпозитів проводилося графітовим електродом діаметром 10 мм.

В процесі синтезу мікротвердість покриттів вимірювалася на твердомірі марки ПМТ-3. СВС проводили на циліндричних зразках за умов фронтального здійснення синтезу.

Після отримання композиційного матеріалу у вигляді спека робили його дроблення, здійснювали механоактиваційну обробку і додавали матричний матеріал ПГ-10Н-01 у кількості 80-90% для покращення технологічних властивостей при наплавленні.

Результати дослідження мікротвердості покриттів з композиційних матеріалів складу (10%Ti+В+С+Fe₂O₃+А1)+90%ПГ-10Н01) та

(20%Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) +(80%ПГ-10Н-01), показали, що в шарі присутні тверді включення - імовірно це карбід (TiC), диборид титану (TiB₂) та карбід заліза (Fe₃C). Так, мікротвердість покриття композиційного матеріала (20% (Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) +80% ПГ-10Н-01), отриманого електродуговим наплавленням на сталеву основу (сталь 20) перевищує мікротвердість наплавленого покриття ПГ-20Н-01, що дорівнює 760 HV, і становить 787 HV.

Результати триботехнічних випробувань покриттів ПГ-10Н-01 та композиційного матеріалу (20% (Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) + 80% ПГ-10Н-01) на машині тертя типу МІ за схемою диск-колодка в середовищі індустриального масла з питомим навантаженням 8 МПа свідчать про більш високу зносостійкість пропонованого механокомпозиту 20% (Ti+B+Fe₂O₃+Al) + 80% ПГ-10Н-01, яка в 2,35 рази перевищує зносостійкість сплаву ПГ-10, що самофлюсується. Ці включення забезпечують високу зносостійкість композиційного матеріалу. При збільшенні вмісту твердих включень у матричному матеріалі його зносостійкість збільшується.

У роботі [458] досліджували триботехнічні характеристики електроіскрових покриттів на основі (Ti₂B-SiC)-(Ni-Cr) в умовах тертя ковзання без мастила в порівнянні зі сталлю 45 та електроіскровими покриттями з ВК-6. Розглянуто вплив кількості металевого зв'язування у вихідному композиційному матеріалі (Ti₂B-SiC)-(Ni-Cr) на механізм зношування.

У [459] проведені міцнісні стендові випробування моделей та елементів конструкцій ракетно-космічної техніки. На прикладі кромки повітрязабірників прямого повітряно-реактивного двигуна (ПВРД) розглядаються питання методологічного забезпечення та оцінки експлуатаційної надійності виробів ракетно-космічної техніки. Успішне вирішення цієї проблеми багато в чому визначається оптимальним вибором матеріалів відповідних класів – спеціальних жароміцних сплавів та конструкційної кераміки.

Проаналізовано [460] зносостійкість кераміки на основі системи В₄С-TiB₂-SiC. Визначено оптимальні умови процесу, що забезпечують розмелювання частинок карбиду бору та дибориду титану до 1,5-3 мкм з одночасним

утворенням не менше 5 об.% нанорозмірних частинок SiC, рівномірно розподілених на поверхні зерен подрібнюваних компонентів. Отриману суміш формували методом холодного ізостатичного пресування під тиском 180 МПа. Відформовані заготовки спекали у вакуумі печі опору в інертному середовищі при температурі нижче температури появи розплаву. Фізико-механічні та експлуатаційні властивості розробленого матеріалу не поступаються і навіть перевершують властивості традиційних матеріалів для абразивоструйних сопел.

Побудова систем SiC-B₄C-Me^dB₂ та перспективи створення композиційних керамічних матеріалів на їх основі розглянуті в роботі [461-473]. У наближенні моделі регулярних розчинів проведено ліквідус у квазітрійних евтектичних системах SiC-B₄C-Me^dB₂ (де Me^dB₂ – CrB₂, VB₂, NbB₂, TaB₂, TiB₂, ZrB₂, HfB₂, W₂B₅) на підставі експериментальних даних про індивідуальні та граничні системи. Виконано порівняння розрахункових даних із експериментальними. Проаналізовано закономірності будови діаграм стану систем SiC-B₄C-Me^dB₂. Відзначено закономірне зниження концентрації дибориду в потрійній евтектиці зі зростанням температури плавлення. Побудовані кореляційні залежності між температурою евтектики та температурою плавлення: $t_{\text{евт.}}=f(t_{\text{пл. Me}^d\text{B}_2})$, ентальпією утворення дибориду: $t_{\text{евт.}}=f(\Delta H_f \text{Me}^d\text{B}_2)$. Характер залежності близький до аналогічних залежностей, що спостерігалися раніше, в граничних квазібінарних системах SiC-Me^dB₂ і B₄C-Me^dB₂. На підставі аналізу будови та параметрів аналізованих систем зроблено висновок про перспективність розробки на основі розглянутих систем широкого спектру конструкційних та функціональних керамічних матеріалів та покриттів, одержуваних «вільним» спіканням, а також імпульсними методами нагрівання та консолідації.

У наукових працях [474, 475] досліджували змочування TiB₂-SiC сплавами Ni-Cr. Встановлено, що незначні добавки хрому зумовлюють зниження контактних кутів змочування в системі (TiB₂-SiC)-(Ni-Cr), оскільки хром поверхнево-активний елемент сприяє зменшенню поверхневого натягу розплаву. Вивчено мікроструктуру зони взаємодії дибориду титану-карбіду кремнію зі

сплавами Ni-Cr. Проведені дослідження дозволили визначити оптимальний склад композиційного матеріалу (TiB₂-SiC)-(Ni-Cr).

У роботах [476-478] показано процес створення композиційного матеріалу системи AlB₁₂-50 мас.% Al. Встановлено, що алюміній добре змочує AlB₁₂, з утворенням контактних кутів ($\Theta \approx 15-20^\circ$) і відсутністю вторинних фаз у зоні взаємодії на межфазній границі Al-AlB₁₂. Тому алюміній можна використати у якості металевої зв'язки для створення композиційних матеріалів на основі додекабориду алюмінію. Цим матеріалом було отримано електроіскрове покриття на титанових сплавах BT1-0 та OT-4. Показано, що електроіскрове покриття на сплаві BT1-0 має товщину 340 мкм та мікротвердість від 4 до 6-8 ГПа. Електроіскрова обробка сприяє збільшенню зносостійкості титанового сплаву, завдяки утворенню в структурі покриття алюмініду Ti, TiB₂ та Al₂O₃. Також при нанесенні на сплав OT-4 встановлено, що незалежно від режиму нанесення, при випробуваннях на фретинг-корозію знос зразку з покриттям значно менший, ніж зразку без покриття. Зроблено висновок про перспективність застосування даного електродного матеріалу для електроіскрового легування титанових сплавів, що працюють в умовах фретинг-корозії, а саму систему AlB₁₂-Al можливо застосовувати при нанесенні покриттів електроіскровим методом.

Аналіз літературних даних показав, що нанесення на робочі поверхні деталей захисних покриттів є ефективним способом покращення їх експлуатаційних характеристик, що призводить до суттєвого підвищення ресурсу роботи машин. Для забезпечення технологічних процесів нанесення покриттів доцільно використовувати металокерамічні матеріали із вмістом металевої фази не менше ніж 40%. Для отримання композиційних порошкових матеріалів системи "тугоплавка сполука - металевий сплав" для газотермічного напилення покриттів перспективним є метод рідкофазного спікання у вакуумі з подальшим подрібненням, в процесі якого забезпечується міцний адгезійний зв'язок між тугоплавкою і металевою фазою. При цьому процеси змочування та міжфазної взаємодії визначають структуру, відповідно та експлуатаційні

властивості покриттів. За рахунок вибору фазових складових можна цілеспрямовано управляти структурними ефектами, що дозволяє отримувати поверхні з необхідними триботехнічними властивостями певних умов експлуатації.

SECTION 12. ZOOTECHNICS

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.12.1

12.1 Продуктивні якості та накопичення ^{137}Cs , Pb і Cd у продукції за використання екструдованих кормів у раціоні свиней

Проблема кормового білка була і залишається основною при організації повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин. Дефіцит перетравного протеїну у раціонах тварин складає 15-30 %, при цьому виробництво тваринницької продукції зменшується на 20-35 %, а собівартість та витрати кормів збільшуються в 1,5 рази [479, 480]. За таких умов пошуки можливостей підвищення рівня білкового забезпечення тварин шляхом використання кормів, багатих протеїном, набуває особливого значення і є актуальним у промисловому тваринництві [481, 482].

За даними зарубіжних авторів [483, 484], зернові бобові є повноцінним джерелом протеїну, амінокислот та енергії, і їх можна використовувати як заміну соєвого шроту в кормах для тварин і птиці, оскільки соєвий шрот стає дефіцитним і дорогим. Окрім того, використання бобових кормів зменшує залежність від азотних добрив на основі викопного палива та імпортованих білкових концентратів, покращує поглинання вуглецю та диверсифікує сівозміни, тим самим покращуючи економіку та сталість молочного скотарства [485, 486].

Важливим резервом поповнення дефіциту протеїну в раціонах тварин на Поліссі може стати використання гороху, пелюшки, кормових бобів, вики та люпину вузьколистого (безалкалоїдного) [487]. Зерно гороху — це високоцінна бобова культура, яка є джерелом сухої речовини, енергії та інших поживних речовин для сільськогосподарських тварин [488]. Згідно повідомлень вітчизняних дослідників [489], зерно пелюшки також є високопоживним кормом для свійських тварин, у ньому міститься біля 18 % перетравного протеїну, який за амінокислотним складом є кращим від протеїну злакових. За даними авторів [490], горох і пелюшка можуть бути привабливими альтернативними

замінниками «високобілкових» кормових інгредієнтів, а також зернових культур у раціонах тварин через їх відносно високий вміст сирого протеїну і концентрацію крохмалю.

Виробництво якісних і безпечних харчових продуктів в умовах техногенного забруднення навколишнього середовища є проблемою світового масштабу, особливо в Україні. Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС радіоактивними речовинами, зокрема цезієм-137, забруднено ґрунт не лише в Україні, а й у багатьох інших країнах світу. Житомирська область є однією з найбільш постраждалих від аварії областей. Крім того, ця територія забруднена найбільш токсичними важкими металами – свинцем (Pb), кадмієм (Cd), міддю (Cu) і цинком (Zn), які активно мігрують у біологічній системі: ґрунт → рослина → тварина → продукція → людина, інтенсивно накопичуючись у продуктах рослинного і тваринного походження [491]. Складна екологічна ситуація та широкий спектр біологічної та токсичної дії ^{137}Cs і важких металів вимагають проведення ряду заходів, які б запобігли трансформації шкідливих речовин до організму тварин, підвищили їх продуктивність та безпеку вироблених харчових продуктів в умовах українського Полісся [492].

Тому вивчення ефективності оптимізації раціонів годівлі молодняку свиней за перетравним протеїном за рахунок використання місцевих високобілкових кормів в екструдованому вигляді та отримання екологічно безпечної і якісної продукції в зоні радіоактивного забруднення є актуальним, має як наукове, так і практичне значення.

12.1.1. Продуктивні і забійні якості свиней

Експериментальні дослідження на молодняку свиней великої білої породи проводили на території фізіологічного двору Інституту сільського господарства Полісся НААН (III зона радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС). Згідно зі схемою досліду, молодняк I (контрольної) групи отримував господарський раціон, в якому нестачу до норми перетравного протеїну забезпечували за рахунок згодовування макухи соняшникової, а в II, III, IV

(дослідних) групах використовували екструдоване зерно вики, гороху і пелюшки відповідно (табл. 1).

Таблиця 1.
Схема дослідю

Група	Кількість тварин у групі, гол.	Характеристика годівлі тварин по періодах	
		порівняльний (34 доби)	основний (201 доба)
1. I (контрольна)	7	ОР (дерть ячмінна, пшенична і вівсяна, буряк цукровий, зелена маса)	ОР + макуха соняшникова
II (дослідна)	7	ОР	ОР + екструдована вика
III (дослідна)	7	ОР	ОР + екструдований горох
IV (дослідна)	7	ОР	ОР + екструдована пелюшка

Для годівлі тварин упродовж дослідю використовували корми власного виробництва, вирощені в III зоні радіоактивного забруднення, а макуху соняшкову завозили з інших регіонів України. У середньому за добу піддослідний молодняк свиней споживав 1,09-1,34 кг дерті ячмінної, 0,42-0,43 – дерті пшеничної, 0,16 – дерті вівсяної, 0,29-0,41 – буряка цукрового, 0,63 – зеленої маси різнотрав'я, 0,27 – макухи соняшкової (I група), 0,30 – вики екструдованої (II група), 0,38 – гороху екструдованого (III група), 0,35 кг – пелюшки екструдованої (IV група). Поживність раціонів годівлі та їх протеїнова забезпеченість складала 2,55-3,12 ЕКО та 84,3-93,3 г перетравного протеїну на одну енергетичну кормову одиницю. Структура раціонів відповідала концентратному типу годівлі: 93,7-94,2 % (за поживністю) складала концентровані та 5,8-6,3 % соковиті і зелені корми.

За період вирощування молодняку свиней концентрація енергії в 1 кг сухої речовини раціону складала: I група – 12,83 МДж обмінної енергії, II група – 13,47, III група – 13,67, IV група – 13,46 МДж. З розрахунку на 1 кг сухої речовини раціону припадало 114-120 г перетравного протеїну (норма 109-118 г) та 65-79 г клітковини (норма 66-76 г), що відповідає існуючим нормам для відгодівлі свиней [493].

В умовах групового утримання тварин у закритих приміщеннях кількість Кальцію і Фосфору в сухій речовині раціонів молодняку живою масою від 40 до 120 кг повинна становити 0,84-0,81 % і 0,70-0,67 % відповідно. У наших дослідженнях ці показники були меншими від нормативних вимог і коливалися в межах 0,28-0,33 % за Са та 0,39-0,44 % - за Р. Для задоволення потреби в Натрії і Хлорі до раціону включали 0,58 % кухонної солі від сухої речовини.

Як свідчать отримані дані, піддослідний молодняк свиней за період проведення досліджень споживав практично однакову кількість кормів, а їх раціони були збалансовані за основними поживними речовинами, за виключенням незначних міжгрупових відмінностей в надходженні до організму тварин обмінної енергії, сирих протеїну і клітковини.

Забезпечення оптимального рівня (згідно існуючих норм годівлі) перетравного протеїну в раціонах, що вивчалися, за рахунок екструдованого зерна місцевих бобових культур, позитивно позначилося на середньодобових приростах молодняку свиней (табл. 2).

Таблиця 2.

Показники продуктивності піддослідного молодняку свиней (n=7; M ± m)

Показник	Група			
	2. I	II	III	IV
Жива маса, кг: початок дослідю закінчення дослідю	29,0±2,3 111,4±4,4	28,7±1,9 114,3±3,6	31,6±2,1 133,9±5,9*	32,1±1,3 138,2±4,6**
Приріст: загальний, кг	82,4±4,0	85,6±3,2	102,3±4,8*	106,1±4,5**
середньодобовий, г	410±20	426±16	509±23*	528±17***
± до контролю: г	-	+16	+99	+118
%	-	+3,9	+24,1	+28,8
Витрати обмінної енергії на 1 кг приросту живої маси, МДж	62,5	62,2	61,3	57,6
± до контролю: %	-	-0,5	-1,9	-7,8
Витрати перетравного протеїну на 1 кг приросту живої маси, г	580	554	517	488
± до контролю: %	-	-4,5	-10,9	-15,9

Примітка. *P > 0,95; **P > 0,99; ***P > 0,999.

Середньодобовий приріст живої маси тварин усіх піддослідних груп за період проведення досліджень коливався в межах від 410 г до 528 г. Найвища інтенсивність росту відмічена у молодняку свиней IV (дослідної) групи – 528 г. За цим показником підсвинки цієї групи переважали ровесників із I (контрольної) групи на 118 г, або на 28,8 % за вірогідної різниці ($P > 0,999$). За використання для годівлі підсвинків гороху в екструдованому вигляді (III група) також позитивно вплинуло на підвищення середньодобових приростів їх живої маси порівняно з контролем – на 24,1 % ($P > 0,95$).

За витратами обмінної енергії на 1 кг приросту живої маси тварини дослідних груп також поступалися перед молодняком з контрольної групи на 0,3-4,9 МДж, або були меншими на 0,5 – 7,8 %. Витрати перетравного протеїну на одиницю приросту коливалися в межах 488-580 г і були також меншими на 4,5-15,9 % у підсвинків II, III та IV (дослідних) груп, ніж у контролі.

Виходячи з вищевикладеного аналізу, можна зробити висновок про те, що використання екструдованих високобілкових кормів порівняно з макухою соняшnikовою за відгодівлі молодняку свиней в умовах поліської зони України позитивно позначається на їх продуктивних якостях та зменшує витрати поживних речовин на одиницю продукції.

Одним із критеріїв оцінки ефективності використання кормів за вирощування та відгодівлі свиней є результати їх м'ясної продуктивності. З метою порівняльної оцінки м'ясної продуктивності, в кількісному та якісному відношенні, після проведення науково-господарського дослідження, було здійснено контрольний забій піддослідних тварин по 3 голови з кожної групи. Наразі для забою були відібрані підсвинки з середньою для відповідної піддослідної групи живою масою. Забійні показники молодняку свиней мали певні відмінності (табл. 3).

Таблиця 3.

Забійні якості свиней (n=3; $M \pm m$)

3. Показник	Група			
	I	II	III	IV
Передзабійна жива маса, кг	109,7±1,4	108,3±6,6	128,9±9,6	135,0±8,7**
Маса парної туші, кг	62,5±2,2	64,8±4,0	78,4±7,8	81,8±7,4*
Вихід туші, %	57,0±1,8	59,8±0,1	60,8±1,7	60,6±1,3
Маса внутрішнього жиру, кг	2,67±0,34	2,85±0,33	4,60±0,42**	3,70±0,47
Вихід внутрішнього жиру, %	2,43±0,32	2,63±0,49	3,57±0,19**	2,74±0,39
Забійний вихід, % (по Ладану П.Ю.)	59,4±2,1	62,5±0,5	64,4±1,5	63,3±1,1

Примітка. *P > 0,95; **P > 0,99.

Так, жива маса тварин I (контрольної) групи перед забоєм склала 109,7 кг, а в III і IV (дослідних групах) становила 128,9-135,0 кг, або була більшою за контрольні показники на 19,2-25,3 кг (на 17,5-23,1 %) за вірогідної різниці в останньому випадку (P>0,99). Молодняк свиней IV групи переважав ровесників із I групи за масою парної туші на 30,9 % (P>0,95). Встановлена несуттєва міжгрупова різниця за виходом туші та забійним виходом: ці показники у підсвинків дослідних груп відносно контролю були тенденційно більшими на 2,8-3,8 % та 3,1-5,0 % відповідно.

Необхідно зазначити, що за використання для годівлі молодняка свиней екструдованого гороху порівняно з макухою соняшnikовою призводить до вірогідного підвищення маси внутрішнього жиру та його виходу на 1,93 кг та 1,14 % абс. відповідно (P>0,99). Тварини II, III та IV (дослідних) груп відносно I (контрольної) групи мали кращі результати за всіма забійними показниками.

Як відомо, харчова цінність свинини, як і м'яса інших видів тварин, характеризується вмістом в ній основних поживних речовин – білків і жирів. Їх визначають за хімічним складом і енергетичністю. За якісними показниками найдовшого м'язу спини відгодівельних тварин встановлені деякі міжгрупові відмінності. Серед тканин найбільш стала в хімічному відношенні м'язова тканина. Вона є основним джерелом білка. Білки м'язової тканини повноцінні,

тому що містять майже всі незамінні амінокислоти, які необхідні для життєдіяльності людини [494].

Порівняльний аналіз хімічного складу найдовшого м'язу спини відгодівельних свиней показав, що у підсвинків, яким згодовували в складі раціону екструдовану пелюшку, вміст у м'ясі сухої речовини та жиру були найбільшими і переважали аналогічні показники ровесників контрольної групи на 0,22 % абс. та 0,84 % абс. відповідно (табл. 4).

Таблиця 4.

Хімічний склад найдовшого м'язу спини свиней (n=3; M ± m)

Група	Вміст, %			
	суха речовина	протеїн	жир	зола
I (контрольна)	26,88 ± 0,21	22,77 ± 0,36	3,04 ± 0,58	1,07 ± 0,03
II (дослідна)	26,06 ± 0,60	22,53 ± 0,65	2,47 ± 0,08	1,06 ± 0,03
III (дослідна)	26,37 ± 0,54	21,42 ± 0,89	3,90 ± 0,41	1,05 ± 0,07
IV (дослідна)	27,10 ± 0,21	22,16 ± 0,37	3,88 ± 0,57	1,06 ± 0,02

Водночас найменшим умістом сухої речовини і протеїну в найдовшому м'язі спини характеризуються тварини II та III груп, які споживали зерноsumіш з екструдованими викою і горохом – 26,06 % і 21,42 % відповідно, що менше за показники ровесників I групи на 0,82 % абс. і 1,35 % абс. без статистично значущої міжгрупової різниці.

Аналіз хімічного складу печінки показав, що вміст сухої речовини в ній у молодняку свиней II та IV груп за невірогідної різниці виявився на 0,78-0,82 % абс. більшим, ніж у ровесників I групи (табл. 5). Слід відмітити, що вміст жиру та золи в печінці тварин II (дослідної) групи виявилися найбільшими і становили 3,57 % та 1,58 % відповідно, що більше за контроль на 1,28 % абс. (P > 0,95) та 0,05 % абс.

Таблиця 5.

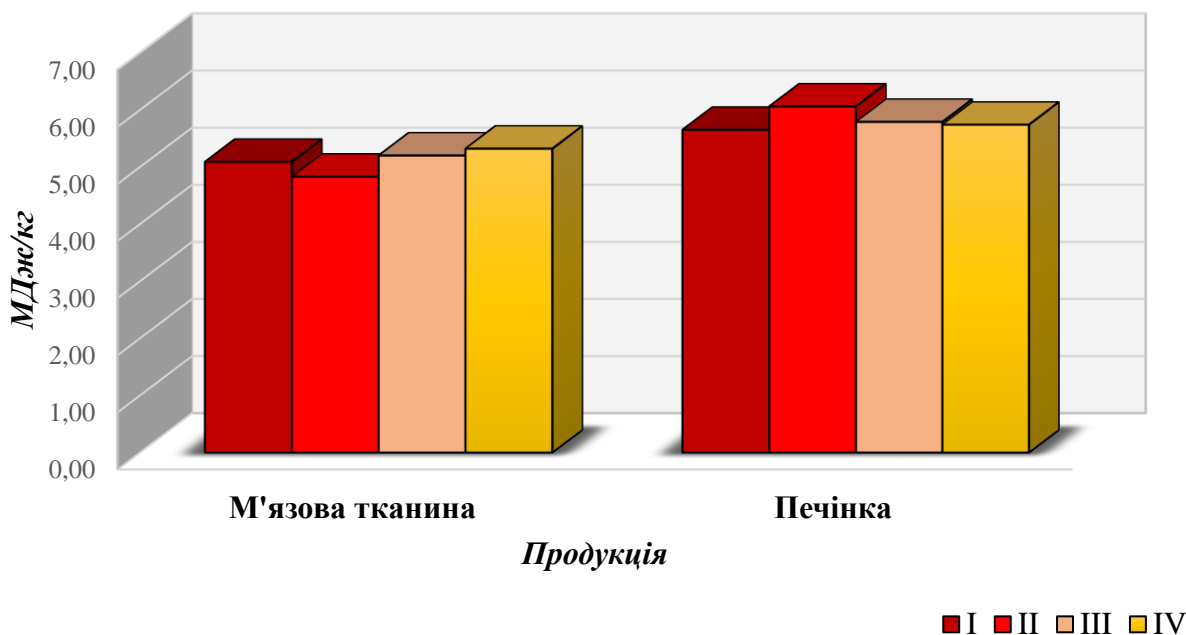
Хімічний склад печінки молодняку свиней (n=3; M ± m)

Група	Вміст, %			
	суха речовина	протеїн	жир	зола
I – контрольна	31,50±0,74	27,68±0,74	2,29±0,10	1,53±0,07
II – дослідна	32,32±1,12	27,17±0,91	3,57±0,23*	1,58±0,12
III – дослідна	31,12±0,83	26,74±1,27	3,06±0,40	1,32±0,08
IV - дослідна	32,28±0,63	28,70±0,71	2,07±0,12	1,51±0,03

Примітка. *P > 0,95.

Різний хімічний склад найдовшого м'язу спини та печінки молодняку свиней контрольної та дослідних груп вплинув на енергетичність (калорійність) продукції свинарства. Так, енергетична цінність 1 кг м'язової тканини піддослідних тварин коливалася в межах 4,83-5,32 МДж (рис.1). Цей показник у найдовшому м'язі спини виявився найвищим у підсвинків IV (дослідної) групи, які споживали у складі кормосуміші екструдовану пелюшку, – 5,32 МДж/кг, порівняно з ровесниками з інших груп перевага склала 2,3-10,1 %.

Енергетична цінність 1 кг печінки молодняку свиней порівняно з найдовшим м'язом спини дещо більша – на 6,2-25,5 %. У тварин дослідних груп цей показник становив 5,74-6,06 МДж/кг, перевага відносно контролю склала 0,09-0,41 МДж/кг, або була більшою на 1,6-7,3 %.



Малюнок 1. Енергетична цінність м'язової тканини і печінки бугайців

Отримані дані дають можливість констатувати, що в поліській зоні України використання екструдованого зерна вики, гороху та пелюшки для балансування раціонів годівлі молодняку свиней за перетравним протеїном позитивно вплинуло на їх продуктивні і забійні якості, хімічний склад продукції та її енергетичність.

12.1.2. Накопичення ^{137}Cs , Pb і Cd у продукції за використання екструдованих кормів у раціоні свиней

Чорнобильська катастрофа нанесла величезну шкоду: негативний вплив на здоров'я людей; радіоактивне забруднення значної території України, що призвело до вилучення з корисного природокористування величезних площ сільськогосподарських угідь; фінансові і матеріальні витрати на вимушене переселення десятків тисяч людей; відшкодування населенню витрат, пов'язаних з аварією тощо. Мінімізація наслідків аварії саме у сільськогосподарській сфері на забруднених радіонуклідами територіях, до якої відноситься виконання радіозахисних заходів у рослинництві й тваринництві, є одним з основним елементів системи радіаційної безпеки[495, 496]. Тому одним із пріоритетних

завдань сучасної радіоекологічної науки є систематичний контроль забруднення рослинницької і тваринницької продукції ^{137}Cs і ^{90}Sr та вивчення особливостей їх міграції у сільськогосподарських екосистемах.

Тому метою наших досліджень було вивчення впливу використання різних екструдованих високобілкових кормів для відгодівлі молодняку свиней на перехід ^{137}Cs , Pb і Cd у продукцію за її виробництва в поліській зоні України.

Спостереження за поведінкою свиней, яких годували радіоактивно забрудненими кормами в підготовчий та в основні періоди спостережень, не виявило аномальних симптомів у жодної з тварин. У ході досліджень встановлено суттєву міжгрупову різницю питомої активності ^{137}Cs у продуктах забою піддослідних тварин залежно від високопротеїнового корму в раціоні (табл. 6).

Таблиця 6.

Питома активність ^{137}Cs у середньодобових раціонах і продукції свиней

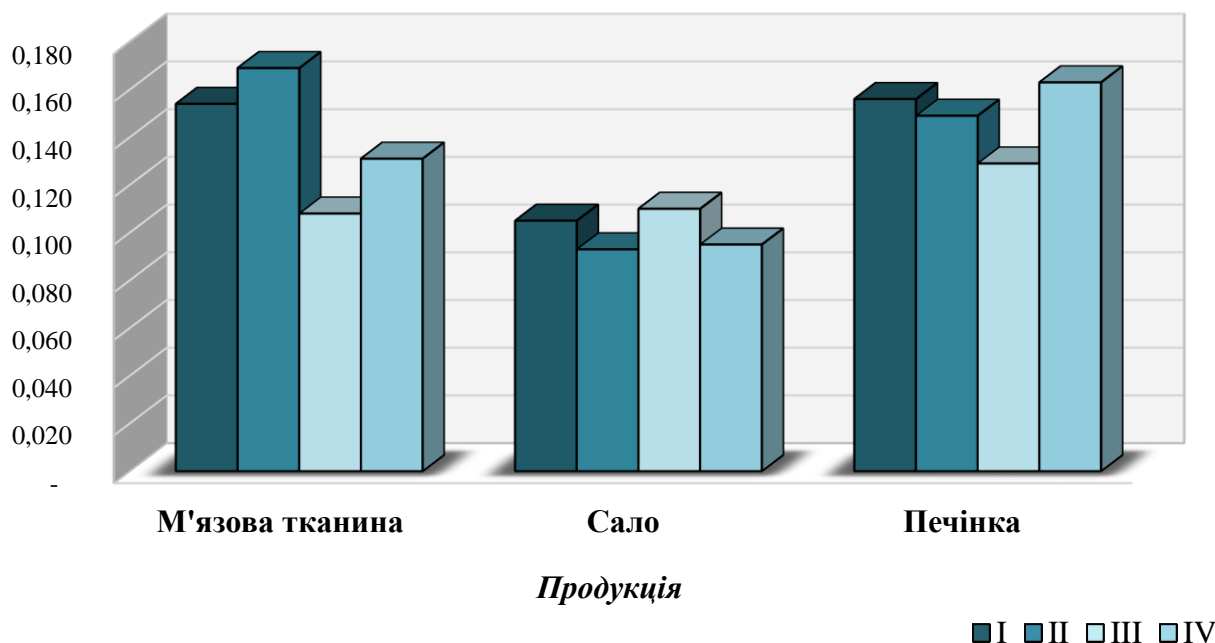
Показник	Група			
	I	II	III	IV
Вміст ^{137}Cs у раціоні, Бк/добу	174,5	178,1	197,1	188,4
Вміст ^{137}Cs у м'язовій тканині, Бк/кг	26,8±1,23	30,1±1,42	21,2±0,22*	24,6±1,97
Вміст ^{137}Cs у салі, Бк/кг	18,3±1,59	16,5±2,31	21,6±1,66	18,0±1,75
Вміст ^{137}Cs у печінці, Бк/кг	27,3±1,73	26,5±2,15	25,4±1,61	30,7±2,30

Примітка. *P > 0,95.

За результатами обстежень встановлено, що питома активність ^{137}Cs у найдовшому м'язі спини, салі та печінці свиней усіх піддослідних груп були в межах 21,2–30,1 Бк/кг, 16,5–21,6 та 25,4–30,7 Бк/кг відповідно, що значно нижче від затверджених у Національних гігієнічних нормативних актах України допустимих рівнів (ДР) вмісту радіонуклідів у харчових продуктах (ДР, затверджений у 2006 р. – 200 Бк/кг)[497]. Водночас у тварин, які споживали корми раціонів із екструдованими горохом і пелюшкою, концентрація ^{137}Cs у м'язових тканинах була нижчою на 20,9 % (P>0,95) і 8,2 % (P<0,95) відповідно, ніж за згодовування молодняку свиней макухи соняшnikової. Питома активність ^{137}Cs у салі та печінці між піддослідними групами суттєво не різнилася. Слід

наголосити, що серед дослідженої продукції найменшим умістом радіонукліду характеризується сало тварин.

Параметром, який характеризує забруднення продукції тваринництва радіонуклідами і важкими металами залежно від їх надходження до організму тварин з кормами, є кратність накопичення. Це відношення вмісту шкідливих речовин в органі, тканині чи організмі в цілому до вмісту у добовому раціоні[498]. Кратність накопичення ^{137}Cs у найдовшому м'язі спини, салі та печінці піддослідних свиней становили 0,108-0,169, 0,093-0,110 та 0,129-0,163 відповідно (рис. 2). Найменший перехід ^{137}Cs у м'язову тканину та печінку спостерігався у тварин III групи (дослідної) – 0,108 та 0,129 відповідно, у сало в ровесників II групи (дослідної) – 0,093.



Малюнок 2. Кратність накопичення ^{137}Cs у продукції тварин

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що балансування раціонів молодняку свиней за перетравним протеїном за рахунок екструдованих гороху і пелюшки порівняно з макухою соняшnikовою призводить до суттєвого зниження питомої активності ^{137}Cs у найдовшому м'язі спини та незначного підвищення накопичення радіонукліду в салі та печінці.

Необхідно зазначити, що рослинна продукція та корми, які вирощувалися навіть на відносно чистих чи мало забруднених ними ґрунтах, можуть стати

джерелом надходження важких металів до організму тварин у надмірній кількості і негативно впливати на обмін речовин. У таблиці 7 наведені дані про концентрацію важких металів у кормах раціонів, які використовувались для відгодівлі молодняку свиней упродовж проведення експерименту.

Таблиця 7.

Концентрація важких металів у кормах раціону піддослідних свиней, мг/кг

Важкі метали	Гранично допустима концентрація	Корми								
		дерть ячмінна	дерть пшенична	дерть вівсяна	макуха соняшникова	вика екструдована	горох екструдований	пелюшка екструдована	бурак цукровий	зелена маса
Pb	5,0	0,42	0,43	0,34	0,65	0,68	0,56	0,62	0,21	1,08
Cd	0,3	0,10	0,14	0,10	0,74	0,26	0,13	0,26	0,08	0,07
Cu	30,0	5,10	4,19	5,27	20,41	8,80	8,36	7,37	1,61	1,08
Zn	50,0	20,42	26,18	25,45	70,51	30,82	30,48	29,95	4,03	8,08

Дослідженнями встановлено, що уміст важких металів у деяких кормах перевищував гранично допустиму концентрацію. Так, концентрація Cd і Zn у макусі соняшниковій перевищувала ГДК у 2,47 і 1,41 рази відповідно. Значна кількість Pb містилась у зеленій масі (1,08 мг/кг) та виці екструдованій (0,68 мг/кг), а Cu – у макусі соняшниковій (20,41 мг/кг), наразі ці показники були нижчими за нормативні вимоги (5,0 і 30,0 мг/кг відповідно).

Для годівлі піддослідних тварин використовували різні види кормів з концентрацією Pb в межах 1,617–1,781 мг/добу (табл. 8). Відповідно до прийнятих Державних санітарних правил і норм України[499], гранично допустимий рівень (ГДК) свинцю в м'ясі становить 0,10 мг/кг, у печінці і нирках – 0,5 мг/кг.

Результати обстежень показали, що накопичення Pb було нижчим за ГДК (0,10 мг/кг) лише в найдовшому м'язі спини свиней III та IV груп. Водночас концентрація цього важкого металу в м'язовій тканині тварин цих груп знизилася на 51,6 % ($P > 0,95$) та 37,9 % ($P < 0,95$) відповідно, тоді як у II групі цей показник недостовірно підвищився на 7,3 % порівняно з ровесниками I групи. Вміст свинцю в печінці та нирках молодняку усіх груп коливався в межах 0,170-

0,260 мг/кг та 0,067-0,233 мг/кг відповідно і не перевищував гранично допустимий рівень. Тим не менш, згодовування молодняку свиней екструдованих гороху і пелюшки призвело до підвищення концентрації Рb у печінці на 32,4-40,5 % та зниження у нирках на 40,4-70,0 % ($P > 0,95$) порівняно з використанням макухи соняшnikової.

Таблиця 8.

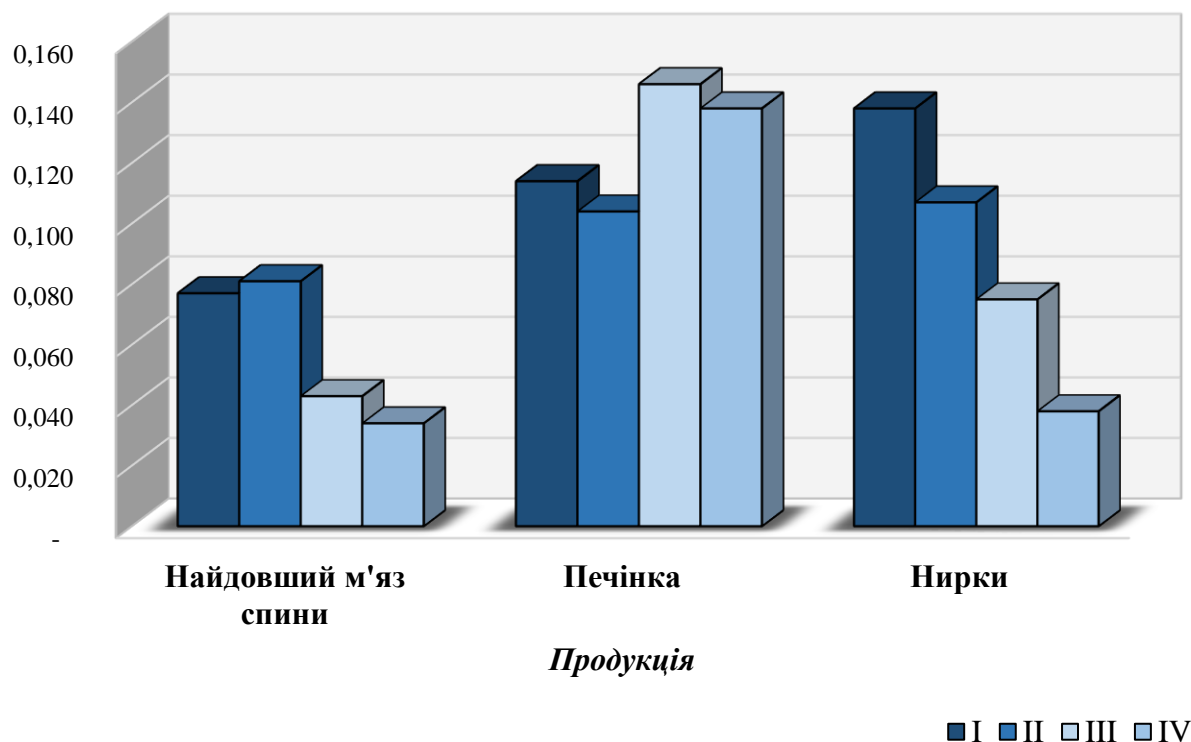
Концентрація Рb у раціонах і продуктах забою свиней

Показник	ГДК	Група			
		I	II	III	IV
Вміст Рb у раціоні, мг/добу	-	1,617	1,638	1,781	1,772
Вміст Рb у м'язовій тканині, мг/кг	0,1	0,124±0,016	0,133±0,014	0,077±0,013	0,060±0,011*
Вміст Рb у печінці, мг/кг	0,5	0,185±0,021	0,170±0,014	0,260±0,029	0,245±0,018
Вміст Рb у нирках, мг/кг	0,5	0,223±0,037	0,175±0,020	0,133±0,010	0,067±0,008*

Примітка. * $P > 0,95$.

Кратність накопичення Рb у найдовшій м'яз спини, печінку та нирки варіювала в межах 0,034-0,081, 0,104-0,146 та 0,038-0,138 відповідно (рис. 3). Найменший перехід цього елемента в найдовшій м'яз спини та нирки спостерігався у тварин IV і III груп, а в печінку – у ровесників II групи, у раціонах яких використовували екструдоване зерно пелюшки та гороху і вики відповідно.

Споживання зелених, вуглеводистих, концентрованих і екструдованих кормів зменшувало надходження кадмію до організму на 0,079-0,124 мг/добу (на 17,4-27,4 %) у тварин II, III та IV груп (дослідних) порівняно з I групою (контрольною) (табл. 9). Проведені дослідження показали, що концентрація кадмію у найдовшому м'язі спини молодняку свиней на вирощуванні й відгодівлі всіх груп перевищувала ГДК у 1,06–1,94 рази. Водночас у тварин, які споживали високобілкові екструдовані корми порівняно з макухою соняшnikовою, спостерігалось зниження вмісту Cd у м'язовій тканині: II група – на 14,4 %, III група – 45,4 % ($P > 0,99$), IV група – на 40,2 % ($P > 0,99$).



Малюнок 3. Кратність накопичення Pb у продукції свиней

Таблиця 9.

Концентрація Cd у раціонах і продуктах забою свиней

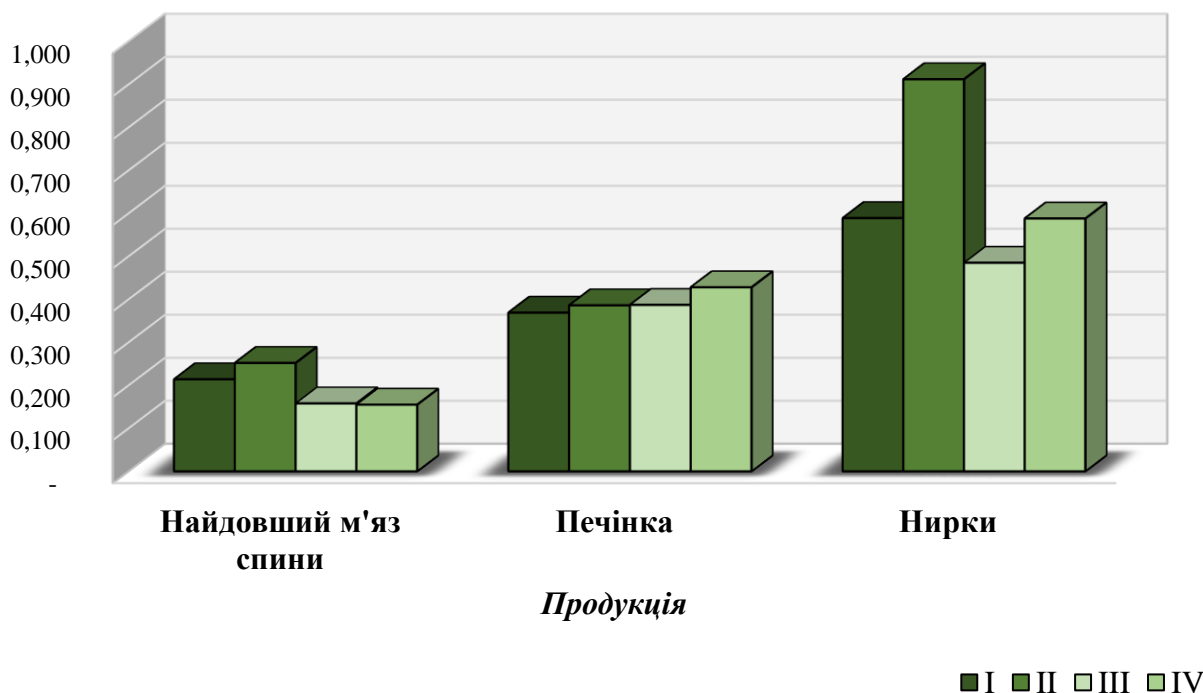
Показник	ГДК	Група			
		I	II	III	IV
Вміст Cd у раціоні, мг/добу	-	0,453	0,329	0,336	0,374
Вміст Cd у м'язовій тканині, мг/кг	0,05	0,097±0,003	0,083±0,004	0,053±0,005**	0,058±0,004**
Вміст Cd у печінці, мг/кг	0,50	0,167±0,025	0,127±0,019	0,130±0,021	0,160±0,027
Вміст Cd у нирках, мг/кг	1,00	0,267±0,015	0,300±0,019	0,163±0,006**	0,220±0,014

Примітка.**P > 0,99.

Найвищий вміст Cd виявився у печінці молодяку свиней I групи (контрольної) – 0,167 мг/кг, що не перевищувало нормативних значень. У тварин II, III та IV груп (дослідних) концентрація Cd у печінці порівняно з I групою знизилася на 0,007-0,040 мг/кг або на 4,2-24,0 % без статистично значущої міжгрупової різниці.

Із досліджених продуктів забою свиней найбільше кадмію містилося у нирках – 0,163-0,300 мг/кг. За оптимізації протеїнового живлення тварин екструдованими горохом і пелюшкою (III і IV групи) порівняно з макухою соняшnikовою (I група) вміст елемента у нирках знижувався на 39,0 % ($P > 0,99$) і 17,6 % ($P < 0,95$) відповідно. Використання екструдованої вики негативно вплинуло на якість нирок – концентрація Cd відносно контролю підвищилася на 12,4 % за недостовірної різниці.

Кратність накопичення Cd у продукції були високими і складали 0,155-0,252 в м'язову тканину, 0,369-0,428 – печінку, 0,485-0,912 – у нирки (рис. 4). Слід наголосити, що найбільше цього важкого металу накопичується в нирках тварин, далі – у печінці і, насамкінець, у найдовшому м'язі спини.



Малюнок 4. Кратність накопичення Cd у продукції свиней

Виходячи із отриманих результатів досліджень, можна стверджувати, що серед досліджуваних металів-токсикантів значними акумуляційними властивостями характеризується Cd. Його кратність накопичення була більшою порівняно з Pb у м'язову тканину в 1,9-7,4 рази, печінку – 2,5-4,1, у нирки – 3,5-24,0 рази.

Висновки

Забезпечення оптимального рівня перетравного протеїну в раціонах годівлі молодняку свиней за рахунок екструдованого зерна місцевих бобових культур (вики, гороху, пелюшки) порівняно з завісною макухою соняшnikовою сприяло підвищенню середньодобових приростів живої маси тварин – вони були на 16-118 г, або на 3,9-28,8 % вірогідно більшими, ніж у контролі. Витрати обмінної енергії і перетравного протеїну на 1 кг приросту живої маси свиней дослідних груп порівняно з ровесниками контрольної групи були меншими на 0,5-7,8 % і 4,5-5,9 % відповідно.

Використання екструдованих високобілкових кормів за виробництва свинини в поліській зоні України позитивно вплинуло на забійні якості тварин, хімічний склад найдовшого м'язу спини і печінки та їх енергетичну цінність.

Оптимізація раціонів годівлі молодняку свиней за перетравним протеїном за рахунок екструдованих гороху і пелюшки порівняно з макухою соняшnikовою призвела до меншого вмісту і накопичення ^{137}Cs у м'язову тканину тварин на 8,2-20,9 % і 14,9-29,9 % відповідно.

Уміст Pb в найдовшому м'язі спини тварин I та II груп виявився більшим за санітарно-гігієнічні вимоги в 1,24-1,33 рази. Водночас концентрація цього важкого металу в м'язовій тканині молодняку свиней II-IV груп (дослідних) знизилася на 37,9-51,6 % відносно ровесників I групи. Найменша кратність накопичення Pb в найдовшому м'язі спини та нирках спостерігалася у тварин IV групи, а в печінку – у ровесників II групи, у раціонах яких використовували екструдоване зерно пелюшки та вики відповідно.

Концентрація Cd у м'язовій тканині свиней усіх груп була вищою від ГДК в 1,06-1,94 рази. Водночас за згодовування тваринам екструдованих високобілкових кормів накопичення елемента в найдовшому м'язі спини і печінці молодняку свиней II-IV груп виявилось меншим на 14,4-45,4 % і 4,2-24,0 % відповідно, ніж у контролі. Із досліджених продуктів забою тварин найбільший вміст Cd відмічено у нирках – 0,163-0,300 мг/кг.

Анотація

Основним завданням при виробництві тваринницької продукції на забруднених радіонуклідами територіях є забезпечення тварин максимально «чистими» кормами та зниження кратності накопичення ^{137}Cs і важких металів у продукції. На жаль, не завжди це можливо, тому запровадження заходів щодо зниження вмісту радіонуклідів і важких металів у кормах, а також внесення змін у структуру раціонів тварин, додавання до їх раціонів добавок, які забезпечують повноцінне живлення, сприятимуть зниженню переходу шкідливих речовин у продукцію тваринництва. Згодовування екологічно чистих і безпечних кормів є не лише важливим для здоров'я тварин, але й важливим чинником, який може зменшити вплив токсичних сполук на організм людини. Накопичення радіонуклідів і важких металів в органах тварин є складною екологічною проблемою, яка, в першу чергу, залежить від концентрації цих речовин у кормах та тривалості їх споживання. Інші фактори, такі як стать, вік і вага тварин, незначні.

Досліджено в комплексі продуктивні і забійні якості, питому активність ^{137}Cs і концентрацію важких металів (Pb, Cd) у ланцюгу «рослина (корм) – тварина – продукція» за вирощування й відгодівлі свиней великої білої породи з використанням місцевих високобілкових кормів. Доведено, що оптимізація протеїнового живлення тварин за рахунок екструдованого зерна вики, гороху і пелюшки порівняно з макухою соняшnikовою забезпечує підвищення інтенсивності їх росту на 3,9-28,8 %, сприяє зниженню питомої активності ^{137}Cs у найдовшому м'язі спини на 8,2-20,9 %, умісту Pb – на 37,9-51,6 % (III і IV групи), Cd – на 14,4-45,4 %.

REFERENCES

1. Dzhyhyrei V.S., Storozhuk V.M., Yatsiuk R.A. Basics of ecology and environment protection (Ecology and nature protection). Study guide. 2nd ed. Lviv, Afisha, 2000. 272 p.
2. Oksana Oshurkevych-Pankivska, Yurii Pankivskyi, Andriy Zadorozhnyy, Vita Reznichenko, Liudmila Kolomiiets. Strategic Assessment of the Impact of Forestry on the Environment to Achieve Sustainable Development. REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA. 3^a época. Año 15, N 42, 2024. pp. 322-336.
3. Ivanyshyna V.V., Shuvara I.A. Biologisation of agriculture in Ukraine: realities and prospects: Ivano-Frankivsk: Symphony forte, 2016. 284 p.
4. Pryimak I.D., Manko Y.P., Ridey N.M. Ecological problems of agriculture: Kyiv: Centre for Educational Literature, 2010. 456 p.
5. Reznichenko V.P., Kolomiiets L.V., Cherednychenko I.V. Use of agrotechnologies for preservation of soil resources and improvement of soil quality. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series 'Agronomy and Biology', Issue 2 (56), 2024. pp. 49-56.
6. Svitlychnyi O.O., Chornyi S.H. Fundamentals of erosion science: textbook Sumy: University Book Publishing House, 2007. 266 p.
7. Kysil V.I. Biological farming in Ukraine: problems and prospects. Kharkiv: 'Shtryh, 2000. 161p.
8. Workshop on agronomy with the basics of agroecology. Study guide. 2018. 302 p.
9. Reznichenko V.P., Kolomiiets L.V., Stefaniuk S.V. Organic agriculture: challenges and prospects for development. Agrarian innovations. 2024. No 23. P. 134-140.
10. Reznichenko V.P., Kolomiiets L.V., Tunik T.M. Assessment of energy efficiency of renewable energy sources based on bioconversion crops. Ukrainian Journal of Natural Sciences, No. 7, 2024, pp. 229-239.
11. Kysil V.I. Agrochemical aspects of ecologisation of agriculture. Kharkiv. Publishing house '13 typography'. 2005. 167 pp.
12. Aralova T.S., Reznichenko V.P., Kryvokhyzha E.M. Ecological aspects of agronomy: ways of sustainable development. Tavrian Scientific Bulletin: Agricultural sciences. Issue 138. Helvetica Publishing House, 2024. P. 3-14.
13. Zabaluiev V.O., Petrenko L.R., Pikovska O.V. Workshop on the protection and restoration of soil fertility. K.: Komprint, 2015. 410 pp.
14. Bedernichek T, Hamkalo Z. Labile soil organic matter: theory, methodology, indicator role: monograph. Kyiv: Condor, 2014. 180 p.
15. Babych A.O. Leguminous crops: K. Urozhai, 1984. P. 122-140

16. Reznichenko V.P., Kornicheva H.I. Feed safety: quality control and standards in feed production. *Tavriyskyi naukovyi visnyk: Agricultural sciences*. Issue 136. Part 2 Helvetica Publishing House, 2024. P. 231-239.
17. Hnatenko O.F., Kapshtyk M.V., Petrenko L.R., Vitvitskyi S.V. *Soil science with the basics of geology: a textbook*. K.: Oranta. 2005. 648 p.
18. Kant G. *Biological crop production: possibilities of biological agroecosystems*. G. Kant. M.: Agropromizdat, 1988. 207 p.
19. Reznichenko V.P., Kovalev M.M. Nitrogen supply of the humus horizon of typical and ordinary chernozems in the conditions of the northern Steppe of Ukraine. *Tavrian Scientific Bulletin: Agricultural sciences*. Issue 107. Helvetica Publishing House, 2019. P. 303-311.
20. Patyka V.P. *Microorganisms and alternative agriculture*. Kyiv: Urozhai, 1993. 176 p.
21. Reznichenko V.P., Andrienko O.O., Vasytkovska K.V. New challenges of time: plastic crops for the risky farming zone. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference 'Topical aspects of modern science and practice', Frankfurt am Main, Germany 2020. pp. 41-44. URL: <https://isg-konf.com>.
22. A. Mykolaitis, V. Reznichenko, T. Yakovyshyna, O. Gogunskaya, O. Shpatakova. Influence of Environmental Innovation on Ecological Productivity. *African Journal of applied Research*. Vol. 10 No. 1 (2024). pp. 454-465.
23. Babych A., Kolisnyk S., Poberezhna A., Nemtsov A. Sowing location and technology of soybean cultivation in Ukraine. *Proposal*. 2000. № 5. P. 38-40
24. *Technologies of growing leguminous crops (peas, soybeans, beans): Methodical instructions for independent theoretical training and laboratory work on the technology of crop production*. Kharkiv: KhNTUA, 2012.
25. Features of the formation of chickpea productivity in ontogeny. *Collection 2016 (05.09.2016)*. P. 389-396
26. Nosko B.S. Nitrogen regime of soils and its transformation in agroecosystems. Kharkiv, 2018. 130 p.
27. Mostipan M.I. *Plant growing. Laboratory workshop*. - Kirovohrad: 2015. - 320 p.
28. Kulynych O.O. Lentils: a reasonable alternative. *Proposal*. 2004. № 8-9. P. 58-59
29. Reznichenko VP, Kovalev MM, Kornicheva H.I. Influence of mineral nutrition and inoculation on lentil yield. Abstracts of VIII International Scientific and Practical Conference Prague, Czech Republic November 09-12, 2020 pp. 42-46.
30. Holoborodko S.P. *Biological and agrotechnical bases of alfalfa cultivation for fodder and seeds in the southern Steppe of Ukraine: PhD thesis: 06.01.09*. Kherson State Agrarian University. Kherson, 2007. 36 p.

31. Reznichenko V.P., Kolomiets L.V., Kornicheva H.I. Influence of microfertilisers on seed productivity of alfalfa in the conditions of the Steppe of Ukraine. *Tavriyskyi naukovyi vestnik: Agricultural sciences*. Issue 133. - Helvetica Publishing House, 2023. - P. 251-256.
32. Reznichenko V.P. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences in the speciality 06.01.09 - Plant Industry. Formation of productivity of the eastern goat's milk depending on technological methods of cultivation in the northern Steppe of Ukraine. Dnipro. 2009., 22 P.
33. Haidenko O., Chipliyaka S. Features of growing sainfoin for green fodder, hay and haylage. *Agribusiness today*. 2019. URL: <http://agro-business.com.ua/ahramnikultury/item/13598-osoblyvosti-vyroshchuvannia-espartsetu-na-zelenyi-korm-sinota-sinazh.html>.
34. Ushkarenko V.O. *Methodology of the field experiment Oldie +*. 2019. - 448 p.
35. Бабич А. О. Світові земельні, продовольчі і кормові ресурси. Київ: Аграрна наука, 1996. 571с.
36. Бабич А. О. Кормові і білкові ресурси світу. Київ, 1995. 298 с.
37. Бабич-Побережна А. О. Формування та використання вітчизняних і світових високобілкових рослинних ресурсів: автореф. дис. ... д-ра екон. наук: 08.00.03. Київ: ННЦ ІАЕ, 2007. 32 с.
38. Бондарева О. Б., Вінюков О. О., Гавриш С.Л. Економічна оцінка способів підвищення продуктивності еспарцету. Корми і кормовий білок : матеріали XIII міжнар. наук. конф. (06 серпня 2021 р.). Вінниця: Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, 2021. С. 187-189.
39. Побережна А. А. Світові білково-олійні ресурси і торгівля ними. Київ: ІАЕ УААН, 2002. 482 с.
40. Бондарева О. Б., Гавриш С. Л., Удовиченко С. М. Результати виробничої перевірки нових популяцій еспарцету. Здобутки та досягнення прикладних та фундаментальних наук XXI століття: мат. міжнар. наук. конф. (7-8.08.2020 р.). Черкаси, 2020. С. 64-67.
41. Бабич А. О., Петриченко В. Ф., Побережна А. А. Світове виробництво однорічних бобових культур для вирішення проблеми білка і біологічного азоту. Вінниця, 1994. С. 164-165.
42. Зінченко О. І., Січкара А. О. Кормовий клин південного Лісостепу України. Деякі аспекти теорії і практики. *Вісн. аграр. науки*, 1999. Спецвипуск (вересень). С. 42-45.
43. Гавриш С. Л. Прискорена система насінництва еспарцету. Стан та перспективи насінництва сільськогосподарських культур. Теорія, методологія, нормативно-правова база, практика: зб. мат. міжнар. наук.-практ. конф. (18-19

грудня 2019 р.). Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ-НЦНС), 2019. С. 50-51.

44. Гавриш С. Л. Покращення посівних якостей насіння еспарцету. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: зб. мат. IV міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів (21.04.2016 р.). Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла, 2016. С.16-17.

45. Савчук Д. П. Посухи та посухозахисні заходи в Україні. Вісник аграрної науки. Київ, 2009. № 9. С. 64-67.

46. Гавриш С. Л., Вінюков О. О., Бондарева О. Б. Принцип добору біотипів за інтенсивністю росту кореневої системи в ювенільний період розвитку рослин еспарцету: за матер. II міжнар. наук.-практ. конф. An integrated approach to science modernization: methods, models and multidisciplinary (24.09.2021). UKR – Відень. Вінниця. АУТ. 2021. С. 145-148.

47. Гавриш С. Л. Метод добору біотипів еспарцету за кращим розвитком кореневої системи. Генетика та селекція сільськогосподарських рослин – від молекули до сорту: матер. III інтернет-конф. молодих учених (28 серпня 2019 р.). Одеса, 2019. С. 21.

48. Черенков А. В., Тарасенко О. А. Шляхи підвищення насіннєвої продуктивності еспарцету в умовах північної підзони Степу України. Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН. Дніпропетровськ, 2005. №23-24. С. 143-146.

49. Тарасенко О. А. Кормова продуктивність еспарцету першого року життя залежно від норм висіву. Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН. Дніпропетровськ, 2005. № 26-27. С. 218-220.

50. Тарасенко О. А. Насіннєва продуктивності еспарцету першого року життя залежно від способу та норм висіву. Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН. Дніпропетровськ, 2006. № 28-29. С. 60-65.

51. Гавриш С. Л., Ващенко В. В. Строки літньої сівби еспарцету в умовах високих температур повітря та ґрунту. Вісник Уманського національного університету садівництва, «Сільськогосподарські науки». Умань, 2016. Вип. 89. Ч.1. С. 176-185.

52. Тарасенко О. А. Ріст і розвиток рослин еспарцету в перший рік життя.: матер. наук.-практ. конф. присвячено 30-річчю створенню Інституту кормів УААН. Корми і кормовиробництво. Вінниця, 2003. № 51. С. 161-162.

53. Спосіб прискореного розмноження насіння еспарцету: пат. 147992 Україна: МПК А01С 1/06, А01В 79/02. заявл. 09.03.2021 р.; опубл. 23.06.2021 р., Бюл. № 25, Кн.1, с.4.1

54. Гавриш С. Л., Бондарева О. Б. Метод добору популяцій еспарцету з високим адаптивним потенціалом в посушливих умовах Степу України. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: зб. мат. VII

- Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів (19 квітня 2019 р.). Миронівка: Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла, 2019. С. 31.
55. Черенков А. В., Красенков С. В., Тарасенко О. А. та ін. Технології вирощування кормових культур. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України. Київ: Аграрна наука, 2004. С. 360-366.
56. Гавриш С. Л., Орехівський В. Д., Бондарева О. Б., Оголева Н. В. Спосіб покращення посівних якостей насіння еспарцету. Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. Харків, 2014. №16. С. 39-45.
57. Гавриш С., Бондарева О., Василенко Т. Спосіб комплексного отбору популяцій еспарцета с високим адаптивним потенціалом. Інноваційні аспекти в селекції сільськогосподарських культур: сб. наукових статей МНК (6–7.09.2018). Молдова. Інститут рослинництва: Порумбень, 2018. С. 370-378.
58. Державний реєстр сортів рослин придатних для поширення в Україні у 2013 році Мінагрополітики України. Державна система охорони прав на сорти рослин. Український інститут експертизи сортів рослин. Київ, 2013. 464 с.
59. Гавриш С. Л. Спосіб літньої сівби обрушеним насінням еспарцету. Підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в північно-східному регіоні України: зб. мат. всеукр. наук.-практ. конф. (20-21 лютого 2014 року). Інститут сільського господарства Північного Сходу, 2014. С. 110-113.
60. Спосіб вирощування рослин еспарцету для визначення інтенсивності розвитку кореневої системи: пат. 147945 Україна: МПК А01G 9/00, А01 Н 1/04. заявл. 06.01.2021 р.; опубл. 23.06.2021 р., Бюл. № 25, кн.1, с.4.2.
61. Вінюков О. О., Бондарева О. Б., Гавриш С. Л. Показники адаптивного потенціалу в розсадниках розмноження новостворених складногібридних популяцій еспарцету. Здобутки та досягнення прикладних та фундаментальних наук ХХІ століття: мат. III Міжнар. наук. конф., (29 липня 2022 р. Черкаси, Міжнародний центр наукових досліджень). Вінниця: Європейська наукова платформа, 2022. С. 128-131.
62. Петриченко В. Ф., Квітко Г. П., Царенко М. К. Наукові основи інтенсифікації польового кормовиробництва в Україні. Вінниця: ФОП Данилюк В.Г. 2008. 240 с.
63. Маткевич В. Т., Резніченко В. П., Нікіфоров Д. О. Продуктивність і якість кормових культур залежно від умов вирощування в Північному Степу України. Корми і кормовиробництво: Вінниця. 2004. Вип. 53. С. 32–35.
64. Луцильно-шліфувальна машина: пат. 84442 Україна: МПК В02В 3/02. заявл. 26.03.2013 р.; опубл. 25.10.2013 р., Бюл. № 20, Кн.1, с.4.47.
65. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво. Київ: Аграрна освіта, 2001, 591 с.

66. Бондарева О. Б., Вінюков О. О., Гавриш С.Л. Економічна оцінка способів підвищення продуктивності еспарцету. Корми і кормовий білок : матеріали XIII міжнар. наук. конф. (06 серпня 2021 р.). Вінниця: Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, 2021. С. 187-189.
67. Еспарцет Резонанс: пат. 170305 Україна: заявл. 18.11.2015; опубл. 03.10.2017 р., Бюл. №2. с. 698.
68. Еспарцет виколистий Красень: пат. 220343 Україна: заявл. 06.01.2021р.; опубл. 14.03.2022 р., Бюл. № 1. с. 485.
69. Бойко П.І., Цимбал Я.С. Раціональні сівозміни – основа органічного землеробства. Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції. Матеріали X міжнар. наук.-практ. конф. (сmt Чабани, 12 вер. 2019 р.). Київ: ТОВ «Твори», 2019. С. 15–18.
70. Lorenz, K., and R. Lal. 2016. Environmental Impact of Organic Agriculture. *Advances in Agronomy* 139: 99–152.
71. Таргоня В.С., Новохацький М.Л. Біологізовані сівозміни органічних виробництв в різнорівневих системах екологічного землеробства. Органічне виробництво і продовольча безпека. Матеріали VII міжн. наук.-практ. конференції (м. Житомир, 23–24 травня 2019 р.). С. 5–8.
72. Hiel MP, Barbieux S, Pierreux J, et al. Impact of crop residue management on crop production and soil chemistry after seven years of crop rotation in temperate climate, loamy soils. *PeerJ*. 2018. P.1–23. <https://www.readcube.com/articles/10.7717/peerj.4836>
73. Крутякова В.І., Гулич О.І., Янсе Л.А. Стан і проблеми ринку біологічних засобів захисту рослин в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 1. С. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-04>
74. Рудик Р.І., Савчук О.І., Мельничук А.О. Перспективи розвитку органічного виробництва в Поліссі. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН”*. Київ, 2013. Вип. 1–2. С.46–51.
75. Екотоксикологічна експертиза технологій вирощування сільськогосподарських культур: методичні рекомендації /під ред. Н.А.Макаренко. К., 2008. 84 с.
76. Ільїн В.Б. Оцінка існуючих екологічних нормативів вмісту важких металів у ґрунті / В.Б.Ільїн // *Агрохімія*. 2000. № 9. С. 74 – 80.
77. Балюк С.А., Греков В.О., Лісовий М.В. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків: КП «Міська друкарня», 2011. 30 с.
78. Олійник О.В., Скронна О.Ю. Інтегральна оцінка ефективності управління формуванням прибутку від реалізації продукції в сільськогосподарських підприємствах. *Економіка АПК*. 2016. № 4. С. 75–80.

79. Іванюк В.О. Система землеробства «Древлянська» дозволяє відмовитись від пестицидів та мінеральних добрив. Суперагроном. 2017. URL: <https://superaconom.com/news/1240-sistema-zemlerobstva-drevlyanska-dozvolyaye-vidmovitis-vid-pestitsidiv-ta-mineralnih-dobriv>
80. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш; за заг. ред. Р.А. Шмига. – Львів, 2010. – 112 с.
81. A. Sinyakin, A. Panchenko, H. Hladyshev, D. Hladyshev, Y. Sobko. The renovation technology of structures that has lost reliability during long-term operation in an aggressive environment // AIP Conference Proceedings 2490, 050022 (2023). Doi.org/10.1063/5.0122887.
82. Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М. Нове конструктивне рішення підсилення тонкостінних оболонок баштового типу / Abstracts of the XXII International Science Conference «Interaction of society and science: prospects and problems», – 2021, London. – С. 29-32. Doi.org/10.46299/ISG.2021.I.XXII.
83. Патент 141504 Україна, МПК E04G23/02 (2006.01). Залізобетонна конструкція підсилення тонкостінних кругло-циліндричних оболонок споруд баштового типу / Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М.; заявник: національний університет „Львівська політехніка”; патентовласник: Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М. - №u201910327; заявл. 11.10.2019; опубл. 10.04.2020, бюл. №7/2020.
84. Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М., Бродський М.О. Підсилення різнотипних фундаментів суцільною плитою / Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph. – Boston: Primedia eLaunch, 2022. – С.103-112. Doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.
85. Saieh, N. (2014, 25 вересня). One Central Park / Ateliers Jean Nouvel. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/551329/one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc>
86. Sánchez, D. (2014, 16 грудня). Foundation for Polish Science Headquarters / FAAB. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/573614/foundation-for-polish-science-headquarters-faab-architektura>
87. Edison Lite | Manuelle Gautrand Architecture | Archello. (б. д.). Archello. <https://archello.com/project/edison-lite>
88. EA-4/02 M:2022. Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration. European Accreditation. 2022.78 p. URL: https://www.accredia.it/app/uploads/2013/09/EA-4-02_2022-incertezza-nelle-tarature.pdf.
89. ILAC-P14-01-2013 ILAC Policy on Measurement Uncertainty in Calibration. URL: https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ILAC_P14_09_2020-1.pdf.

90. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. 2008. 90 p. URL: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6.
91. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment. 2012. 64 p. URL: http://www.coomet.org/DB/isapi/cmt_docs/2017/12/7HHG12.pdf.
92. M3003. The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement. Edition 3. UKAS, 2012. 82 p. URL: <https://ru.scribd.com/document/519245088/M3003-The-Expression-of-Uncertainty-and-Confidence-in-Measurement>.
93. Zakharov I.P., Vodotyka S.V., Shevchenko E.N. Methods, models, and budgets for estimation of measurement uncertainty during calibration. *Measurement Techniques*, 2011, vol. 54, issue 4, pp. 387–399. URL: <https://doi.org/10.1007/s11018-011-9737-5>.
94. Васілевський, О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с. ISBN 978-966-641-632-5. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/15133/15181.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
95. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування. Посібники з вираження невизначеності вимірювань URL: https://national_standards_ukr.academic.
96. Дудніков А. А. Основи стандартизації, допуски, посадки і технічні вимірювання: Підручник-К.: Центр навчальної літератури, 2006.- 352 с.
97. Значення метрології. URL: <https://www.michelli.com/the-importance-of-metrology/>.
98. Мікрометр // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 124. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Shmyh_Roman/Terminolohichnyi_slovnyk-dovidnyk_z_budivnytstva_ta_arkhitektury.pdf.
99. Павленко Ю.Ф. Забезпечення єдності вимірювань: навчальний посібник. Частина 1 / Ю.Ф. Павленко, І. П. Захаров. – Харків: ТОВ «Оберіг», 2023. – 172 с.
100. COMSOL Multiphysics Modeling and Simulation Software. Available at: <http://www.comsol.com/>
101. Khvalin D.I., Dovydkov S.A. Influence of constructive factors on the temperature distribution in end zone of powerful electrical machine. *East European Scientific Journal*. 2022. Vol. 1. № 2(78). P. 54–58.
102. Khvalin D.I., Dovydkov S.A. A brief overview for main stages of technological progress in turbogenerator construction. *Colloquium-journal*. 2023. Vol. 1. № 3(162). P. 33–37.

103. Zozulin Yu.V., Antonov O.Ie., Bychik V.M., Borichevskiy A.M., Kobzar K.O. et al. The creation of new types and modernization of existing turbogenerators for thermal power station. Kharkiv: PF Kolehium, 2011. 228 p. (Ukr.)
104. Kensytskyi O.G., Hvalin D.I., Kobzar K.O. The Mathematical Model of Coupling Calculation the Electromagnetic Field and Heats of End Zone Powerful Turbogenerator. Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc. 2019. Vol. 62. № 1. P. 37–46. (Rus.)
105. Kensytskyi O.G., Hvalin D.I., Kobzar K.O. The mathematical model for coupling calculation of electromagnetic and temperature fields of a powerful turbogenerator end zone. Hydroenergetika Ukrainy. 2018. № 1-2. P. 32–35. (Ukr.)
106. Vlasenko T.S., Hvalin D.I., Mystetskyi V.A. Complex mathematical simulation of physical processes in powerful generator. East European Scientific Journal. 2019. Vol. 4. № 4(44). P. 22–30.
107. Khvalin D.I. Increase of the reliability and operation efficiency of turbogenerators power plants. Boston, USA: Primedia eLaunch LLC, 2021. 152 p. (Ukr.)
108. Titov V.V., Khutoretskyi G.M., Zagorodnaya G.A., Varatian G.P. Turbogenerators. Calculation and construction. Leningrad: Energiia, 1967. 895 p. (Rus.)
109. Kensytskyi O.G., Kramarskyi V.A., Kobzar K.O., Hvalin D.I. Heating of stator turbogenerator end zone at different variants of its constructive implementation. East European Scientific Journal. 2018. Vol. 1. № 9(37). P. 46–51. (Ukr.)
110. Kensytskyi O.G., Hvalin D.I., Vygovskyi O.V. Simulation the electromagnetic and heat process in a stator end zone of turbogenerator. East European Scientific Journal. 2018. Vol. 2. № 10(38). P. 41–47. (Rus.)
111. Khvalin D.I. A new shielding efficiency of stator core end packets of a powerful turbogenerator. Yaderna enerhetyka ta dovkillia. 2021. № 2(21). P. 28–38. (Ukr.)
112. Zhou G., Han L., Fan Z., Liao Y., Huang S. 3D loss and heat analysis at the end region of 4-poles 1150 MW nuclear power turbine generator. Archives of electrical engineering. 2014. Vol. 63(1). P. 47–61.
113. Liu Y., Li C., Fu G., Gao S., Tian Y., Zhai Y. Study of Three-Dimensional Temperature Field with Changed Structures of Air-Cooled Turbo Generator Stator. International Journal of Control and Automation. 2015. Vol. 8. № 5. P. 37–42.
114. Schastlivyi G.G., Fedorenko G.M., Vygovskyi V.I. Turbo- and hydrogenerators at the variable loading graphics. Kiev: Naukova dumka, 1985. 208 p. (Rus.)
115. Borysenko A.I., Danko V.G., Yakovlev A.I. Aerodynamics and heat transfer in electrical machines. Moskva: Energiia, 1974. 560 p. (Rus.)
116. Khutoretskyi G.M., Tokov M.I., Tolvinskaya E.V. Turbogenerators design. Leningrad: Energoatomizdat, 1987. 256 p. (Rus.)

117. Schastlivyi G.G., Fedorenko G.M., Tereshonkov V.A., Vygovskyi V.I. Electrical machines with a liquid cooling. Kiev: Naukova dumka, 1989. 288 p. (Rus.)
118. Kostyaev B.V., Ptashkin A.V. About heat the stator core end packets of large turbogenerators under conditions of reactive power consumption. Elektricheskiye stantsii. 1979. № 5. P. 40–44. (Rus.)
119. Danilevich Ya.B., Pipko R.M. Magnetic field in a stator core end zone of alternating field electrical machine taking into account the influence of leakage slot. Elektrotehnika. 1982. № 9. P. 36–39. (Rus.)
120. Smorodin V.I., Karatsuba A.S., Rudenko L.N. et al. Some features of electromagnetic processes on a turbogenerator stator end. Tekhnicheskaya Elektrodynamika. 1983. № 3. P. 65–72. (Rus.)
121. Titko A.I. Electromagnetic shielding by unclosed structures in electrical machines. Kiev: Naukova dumka, 1994. 304 p. (Rus.)
122. Kensytskyi O.G., Kramarskyi V.A., Kobzar K.O., Hvalin D.I. Study of efficiency the design of a stator core end zone of turbogenerator. Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. 2018. № 50. P. 56–62. (Ukr.)
123. Kensytskyi O.G., Kramarskyi V.A., Kobzar K.O., Hvalin D.I. Study of distribution the electromagnetic field and temperature in a stator core end zone of turbogenerator. Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. 2018. № 51. P. 47–53. (Ukr.)
124. Kensytskyi O.G., Hvalin D.I. The end zone turbogenerator electromagnetic field for changes the reactive load. Tekhnichna Elektrodynamika. 2018. № 1. P. 62–68. (Ukr.)
125. Kramarskyi V.A., Khvalin D.I., Mystetskyi V.A. The performance efficiency of a stator core end zone in a powerful turbogenerator of nuclear power station. Tekhnichni visti. 2019. № 1(49), 2(50). P. 46–49. (Ukr.)
126. Khvalin D.I., Kramarskyi V.A., Mystetskyi V.A. Increase of the shielding efficiency of a powerful turbogenerator end zone. Tekhnichni visti. 2020. № 1(51), 2(52). P. 88–91. (Ukr.)
127. Khvalin D.I. Ways for increase of powerful turbogenerators reliability. Colloquium-journal. 2024. Vol. 1. № 6(199). P. 19–23.
128. Kensytskyi O.G., Hvalin D.I., Sorokina N.L. Reduction of heat unevenness for stator core end packet of powerful turbogenerator. Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. 2018. № 49. P. 27–32. (Ukr.)
129. Kuchynskyi K.A., Kramarskyi V.A., Hvalin D.I., Mystetskyi V.A. Thermomechanical parameters of stator winding insulation of a turbogenerator with controllable cooling. East European Scientific Journal. 2020. Vol. 3. № 1(52). P. 74–77.

130. Kuchynskyi K.A., Kramarskyi V.A., Hvalin D.I., Mystetskyi V.A. Residual life and heat control of a turbogenerator stator winding insulation. *East European Scientific Journal*. 2020. Vol. 5. № 2(54). P. 63–66.
131. Glebov I.A., Shilin N.V. *Electrical machines. High voltage switches*. Moskva: Energoatomizdat, 1986. 256 p. Energy abroad, SIGRE-84. (Rus.)
132. Complex of technical solutions for raises the fire and explosion safety of turbogenerators series TVF and TVV with hydrogen cooling. Technical proposal. OBS.089.027 PT. JSC «Elektrosyla», 1993. (Rus.)
133. Томенко В. І., Сачанюк-Кавецька Н. В., Дмитрієнко О. О. Інтелектуальний аналіз даних // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – №3(285). – С. 77-88.
134. Сачанюк-Кавецька Н. В., Прозор О. П. Елементи математичного опису логіко-часових функцій багатозначної логіки та окремих операцій над ними // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2022–Том 53 (№1).– С. 111-118.
135. Leonid Tymchenko, Natalia Kokriatska, Volodymyr Tverdomed, Natalia Sachaniuk-Kavets'ka, Liudmyla Semenova, etc. Pyramidal method of generalized spatially-connected preparation and an example for its implementation image for processing, *Proceeding of SPIE*, Vol. 12467 (2022), *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, USA*, 15–17 September 2022. – 7 pages, <https://doi.org/10.1117/12.2659202>.
136. Сачанюк-Кавецька Н. В., Кожем'яко В. П. Елементи око-процесорної обробки зображень в логіко-часовому середовищі. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2004. – 135 с.
137. Кожем'яко В.П., Сачанюк Н.В., Понура О.І. Поняття та застосування похідної ЛЧФ // Вісник ВПІ. - 2000. - № 4. - С. 80-84.
138. Сачанюк-Кавецька Н. В., Бондаренко І.О. Ідентифікація суб'єктів в системах контролю доступу за допомогою ідентифікаційної логіко-часової функції, як ефективний метод комплексного захисту інформації // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. –2018. – №1(35). – С. 14-23.
139. Сачанюк-Кавецька Н. В. Кодування як засіб захисту інформації у системах контролю доступу з використанням логіко-часових функцій у формі поліномів і біометричних даних суб'єктів //Реєстрація, зберігання і обробка даних. – Інститут проблем реєстрації інформації НАН України. – 2018. – Том 20. – №2. – С. 60-68.
140. Сачанюк-Кавецька Н. В., Прозор О. П., Хом'юк В. В., Бондаренко І. О. Математичний опис операції нерівнозначності в логіко-часовому середовищі // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2022–Том 54 (№2).– С. 124-130 (<https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-54-2-124-130>).

141. Сачанюк-Кавецька Н. В., Прозор О. П., Хом`юк В. В., Шевчук Р. П. Математичний опис операції диференціювання в логіко-часовому середовищі. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2023. Том 57(№2). – С. 93-99. - DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-57-2-93-98>.
142. Graham R., Knuth D., Patashnik O. Concrete mathematics. – Addison-Wesley Professional, 1994. – 700 p.
143. Knuth D. Art of Computer Programming, The: Combinatorial Algorithms, Volume 4A, Part 1, 1st Edition. – Addison-Wesley Professional, 2011. – 912 p.
144. Budanov, P., Brovko, K., Cherniuk, A., Vasyuchenko, P., Khomenko, V. (2018). Improving The Reliability Of Information-Control systems At Power Generation Facilities Based on The Fractal-Cluster Theory. Eastern-European Journal of Enterprise Thechnologies, 2/9(92), 4–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126427>
145. Budanov, P., Oliinyk, Yu., Cherniuk, A., Brovko, K. (2024). Cluster Model of Informational Space Technological Process of Power Station. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 221, 141–155. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_11
146. Spisak, S., Diab, A. (2025). AI-Assisted Forecasting of a Mitigated Multiple Steam Generator Tube Rupture Scenario in a Typical Nuclear Power Plant. Energies, 18(2), 250. <https://doi.org/10.3390/en18020250>
147. Xingyu, X., Jingang, L., Jiejuan, T., Haitao, W. (2024). Emergency Decision Support Techniques for Nuclear Power Plants: Current State, Challenges, and Future Trends. Energies, 17(10), 2439. <https://doi.org/10.3390/en17102439>
148. Pakarinen, S., Laarni, J., Koskinen, H., Passi, T., Liinasuo, M., Salonen, T. (2024). Virtual-Reality training solutions for nuclear power plant field operators: A scoping review. Progress in Nuclear Energy, 169, 105104. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105104>
149. Каплін М.І., Макаров В.М., Білан Т.Р. Балансово-оптимізаційна модель взаємодії енергетики з паливними галузями ПЕК України з урахуванням європейських екологічних норм. Проблеми загальної енергетики. 2018, 1(52). 5–11.
150. Babak, V. P.; Kulyk, M. M. Increasing the Efficiency and Security of Integrated Power System Operation Through Heat Supply Electrification in Ukraine. Science and Innovation 2023, 19(5), 100-116.
151. Бабак В., Нікітін Є., Тесленко О. Цілісний підхід до системної трансформації електроенергетики, централізованого теплопостачання та комунальної інфраструктури. Системні дослідження в енергетиці. 2024, 4 (80). 6–25.
152. Макаров В.М. Математична модель оптимізації технологічного розвитку вуглевидобування в Україні. Проблеми загальної енергетики. 2017, 1(48). 16-23.

153. Маляренко О.Є. Показники енергоекономічного аналізу для визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів у багатопродуктових виробництвах промислової продукції. Проблеми загальної енергетики. 2010, 1 (21), 40-46.
154. Маляренко О.Є. Методичний підхід до визначення прогнозованої структури споживання первинного палива. Проблеми загальної енергетики. 2016, 3 (46), 28-39.
155. Denysov V., Babak V., Zaporozhets A., Nechaieva T., Kostenko G. Quasi-dynamic Energy Complexes Optimal Use on the Forecasting Horizon. Systems, Decision and Control in Energy VI: Volume I: Energy Informatics and Transport. Springer, Cham. 2023. 81-107.
156. Макаров В.М., Білан Т.Р., Каплін М.І. Математичні моделі оптимізації обсягів постачання вугілля в економіку країни з урахуванням вимог енергетичної безпеки. Економічна безпека національного енергетичного сектору в умовах глобалізації: колективна монографія / За заг. ред. О.Л. Гальцевої. – Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 88-104.
157. Makarov V.M. Forecasting the development of the coal industry taking into account environmental constraints. Economic Development: Global Trends and National Peculiarities. Collective monograph. Poland: Baltija Publishing, 2020. 100-118.
158. Макаров В., Каплін М., Білан Т., Перов М. Прогнозування обсягів видобутку вугілля в Україні. Системні дослідження в енергетиці. 2023. 1(72). 35-45.
159. Makarov V., Kaplin M., Perov M., Bilan T., Maliarenko O.: Optimization of Coal Products Supply for the Power Industry and the Country's Economy. In: Zaporozhets A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control, Springer, Cham. 2023. vol 481. P. 87-98.
160. Стогній О.В., Макаров В.М., Каплін М.І., Білан Т.Р. Визначення оптимальної марки вугілля ТЕЦ при переведенні їх котлоагрегатів на пиловугільне спалювання. Проблеми загальної енергетики. 2013, 1. 28-37.
161. Novoseltsev, O., Kovalko, O., Evtukhova, T. Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety. Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems - Proceedings of the International Forum on Energy Efficiency, 2013.
162. Makarov, V., Kaplin, M., Bilan, T., Perov, M. Modeling the coal industry technological development considering environmental restrictions. Systems, Decision and Control in Energy II. Studies in Systems, Decision and Control. Springer, Cham. 2021. Vol. 346. P. 153-166.
163. Shulzhenko S., Kostyukovskyi B., Maliarenko O., Makarov V., Bilenko M.: Thermal Power Plants' Coal Stock Short Term Projection Method for Ensuring National Energy Security. In: Zaporozhets A. (eds) Systems, Decision and Control in

Energy IV. Studies in Systems, Decision and Control, Springer, Cham. 2023. vol 454. P. 279-289.

164. Makarov V.M., Perov M.O. Scenarios for the development of the coal industry with projected changes in the structure of the use of coal products in the country economy. *The Problems of General Energy*, 2022. 1-2 (68-69), 70-81.

165. Кулик М.Н. Методы системного анализа в энергетических исследованиях. – К.: Наукова думка, 1987. – 198 с.

166. Стогній О.В. Структурні особливості балансово-оптимізаційної моделі паливозабезпечення країни / О.В. Стогній, М.І. Каплін // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2011. – Спец. вип. Ч. 1 – С. 138–145.

167. Архангельский Ю.С. Межотраслевой баланс / Ю.С. Архангельский, И.И. Коваленко. – К.: Вища школа, 1988. – 247 с.

168. Исследования структуры американской экономики. Теоретический и эмпирический анализ по схеме затраты-выпуск / В. Леонтьев, Холлис В. Ченери, Пауль Г. Кларк и др. Госстатиздат, 1958. – 640 с.

169. Kantorovich, L.V. (1939). "Mathematical Methods of Organizing and Planning Production". *Management Science*. 6 (4): 366–422.

170. Koopmans Tj.C. Optimum utilization of the transportation system, in: *The Econometric Society Meeting* / Tj.C. Koopmans // Washington, D.C., 1947; D.H. Leavens, ed.: *Proc. of the International Statistical Conf.* – 1948. – Volume V. – P. 136–146.

171. Koopmans T.C. Analysis of production as an efficient combination of activities. *Cowles Commission Monograph No.13: Activity analysis of production and allocation.* – New York: Wiley, 1951. – С. 33-97.

172. Добровольский В.К. Экономико-математическое моделирование (Вопросы методологии). – К.: Наукова думка, 1975. – 184 с.

173. Menchynska, A., Manoli, T., Tyshchenko, L., Pylypchuk, O., Ivanyuta, A., Holembovska, N., & Nikolaenko, M. (2021). Biological value and consumer properties of fish pastes. *Journal of Food Science and Technology*, 15 (3), 52-62. <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.2121>

174. Lebska, T.K., Bal-Prylypko, L.V., Slobodiyuk, N.M., Golembovska, N.V., Menchynska, A.A., & Ivanyuta A.O. (2021). *Fish and seafood technology*. К.: Komprint.

175. Lobo, C.M.D.O., Torrezan, R., de Furtado, Â.A.L., Antoniassi, R., Freitas, D.D.G.C., de Freitas, S.C., et al. (2015). Development and nutritional and sensory evaluation of cachapinta (*Pseudoplatystoma* sp) pâté. *Food Sci Nutr.*, 3, 10-6.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.183>

176. Alekseev, G. V., Eliseeva, S. A., & Sergacheva, E. S. (2020). Rheological Characteristics of Modified Paste from Salmon and Low Valued Breeds of Fishes. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 753, 072001. doi:10.1088/1757-899X/753/7/072001
177. Bledsoe, G. E., Bledsoe, C. D. & Rasco, B. A. (2003). Caviar and Fish Roe Products. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 43(3), 317-356.
178. Airado-Rodríguez, D., Høy, M., Skaret, J., & Wold, J.P. (2014). From multispectral imaging of autofluorescence to chemical and sensory images of lipid oxidation in cod caviar paste. Talanta, 122, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.12.052>
179. Tang, Y., Jiang, H., Wu, H., Wang, X., Chen, Y., Xiong, Y.L., & Lin, S. (2019). Fabrication and physicochemical characterization of *Pseudosciaena crocea* Roe protein-stabilized emulsions as a nutrient delivery system. Journal of food science, 84(6), 1346-1352. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14612>.
180. Norn, V. (2014). Emulsifiers in Food Technology. Ltd.: Chichester. DOI:10.1002/9781118921265
181. Kazhibayeva, G., Issaeva, K., Mukhamejanova, A., Khayrullin, M., Kulikov, D., Lebedeva, N. Gribkova, V., & Rebezov M. (2019). Development of Formulation and Production Technology of Fish Pate for Therapeutic and Prophylactic Purposes. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 8 (5C), 1355-1359. <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1193.0585C19>.
182. Shim, D.W., Jiang, J., Kim, J.H., Kim, W.W., Kang, W.S., Choi, W.S., Hur, S. J., Kim, D.Y., Kim, K. C., & Lee, K. H. (2021). Effects of Size Adjusted with Red Ginseng Powders on Quality of Fish Past. J Korean Soc Food Sci Nutr., 41(10), 1448-1453. DOI: <https://doi.org/10.3746/jkfn.2012.41.10.1448>
183. Labuda, J., Bučková, M., & Heilerová, L. (2002). Detection of Antioxidative Activity of Plant Extracts at the DNA-Modified Screen-Printed Electrode. Sensors, 2, 1-10.
184. Li, Y., Guo, C., & Yang, J. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. Food Chem., 96 (2), 254-260.
185. Minozzo, M.G., Waszczyński, N., & Boscolo, W. R. (2008). Utilização de carne mecanicamente separada de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) para a produção de patês cremoso e pastoso. Alimentos e Nutrição, 19 (3), 315-319.
186. Freitas. D.D.G.C., Resende, A.L.D.S.S., Furtado, A.A.L., Tashima, L., & Bechara, H.M. (2012). The sensory acceptability of a tilapia (*Oreochromis niloticus*) mechanically separated meat-based spread. Brazilian Journal of Food Technology, 5(2), 166-173. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232012005000010>.

187. Hua, Q., Gao, P., Xu, Y., Xia, W., Sun, Y., & Jiang, Q. (2020). Effect of commercial starter cultures on the quality characteristics of fermented fish-chili paste. *LWT*, 122(1), 109016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.10901625>.
188. Ramírez, J.A., Del, A., A., Uresti, R.M., Velazquez, G., & Vázquez M. (2007). Low-salt restructured products from striped mullet (*Mugil cephalus*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additives. *Food Chemistry*, 102(1), 243-249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.04>
189. Kasapis, S. (2009). Developing minced fish products of improved eating quality: an interplay of instrumental and sensory texture. *International Journal of Food Properties*, 12(1), 11-26. DOI:<https://doi.org/10.1080/10942910802252171>
190. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Pearson, 2017, 1184 p.
191. Alan C. Bovik. *Handbook of Image and Video Processing*. Academic Press. 2005, 1384 p.
192. Michael T. Raggio, Gregory K. Kretchley. *Data Hiding: Exposing Concealed Data in Multimedia, Operating Systems, Mobile Devices and Network Protocols*. Syngress, 2013, 360 p.
193. William Stallings. *Cryptography and Network Security: Principles and Practice*. Pearson, 2020, 750 p.
194. Christophe Letellier. *Chaos in Nature*. World Scientific, 2013, 368 p.
195. Luciano da Fontoura Costa, Roberto Marcondes Cesar Junior, "Shape Analysis and Classification: Theory and Practice", CRC Press, 2009, 674 p.
196. Bogomazov, S., Povorozniuk, N. (2024). Implementation of Information and Measurement Systems at the Base of Specialized Internet Protocols. In: Eremenko, V., Zaporozhets, A. (eds) *Advanced Information-Measuring Technologies and Systems I. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 439. Springer, Cham., pp.115-207. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40718-5_4
197. LXI Device Specification 2023, Revision 1.6.1. LXI Consortium, Inc., 74c.
198. Aufranc Jean-Luc. Open-source LXI Tools is made for “LAN eXtensions for Instrumentation” compliant test instruments. February 28, 2022. <https://www.cnx-software.com/2022/02/28/open-source-lxi-tools-is-made-for-lan-extensions-for-instrumentation-compliant-test-instruments>
199. Instrument Control in Windows with Ethernet/LXI: Set-up and Configuration. Updated Nov 23, 2023. <https://www.ni.com/en/support/downloads/instrument-drivers/instrument-control-in-windows-with-ethernet-lxi--set-up-and-conf.html>
200. IEEE 1588 Standard for A Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, Updated December 1, 2021. <https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/ieee-1588>

201. Eidson, J. IEEE-1588 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. A Tutorial. Agilent Technologies, Inc., 2005, 94 с.
202. C8051F340/1/2/3/4/5/6/7/8/9/A/B/C/D Datasheet.– Silicon Laboratories, Inc., 2009, 276 с.
203. CP2200/1 Datasheet.– Silicon Laboratories, Inc., 2007, 108 с.
204. Богомазов С.А., Солоп Д.О. Мікроконтролерний пристрій дистанційного збору даних // Збірник тез доповідей науково-технічної конференції викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних та космічних систем, м.Київ, ФАКС, НТУУ “КПІ”, 2012.– С. 68-71.
205. Dunkels, A. The uIP Embedded TCP/IP Stack. Reference Manual. Swedish Institute of Computer Science, 2006, 261 с.
206. AN292: Embedded Ethernet Systems Design Guide – Silicon Laboratories, Inc., 2008, 46 с.
207. Солоп Д.О., Богомазов С.А. Особливості розробки драйверів для мікроконтролерних LXI-модулів збору даних // Гіротехнології та конструювання літальних апаратів: Тези доповідей учасн. XVI наук.-техн. конф. студ. та молодих учених –К.: “Політехніка”, 2013.– С.56-57
208. Солоп Д.О., Богомазов С.А. Розробка LXI-сумісних мікроконтролерних модулів збору даних // IX Міжнародна науково-технічна конференція “Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки”: Збірник доповідей. – К.: НТУУ “КПІ”, 2013.– С.503-509
209. Dudnyk, V., Sinenko, Yu., Matsyk, M., Demchenko, Ye., Zhyvotovskiy, R., Repilo, Iu., Zabolotnyi, O., Simonenko, A., Pozdniakov, P., Shyshatskiy, A (2020). “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), pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.
210. Sova, O., Shyshatskiy, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., & Hrokholskiy, Y. (2021). “Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment”. EUREKA: Physics and Engineering, Vol. (4), pp. 30-40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>.
211. 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, Vol. (4), pp. 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.
212. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechniy, O., Adamenko, M., Shyshatskiy, A., Neroznak, Y. and Velychko, V(2020). “Development of complex methodology of processing heterogeneous data in

intelligent decision support systems”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No.9 (106), pp.14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.

213. Nina Kuchuk, Amin Salih Mohammed, Andrii Shyshatskyi and Oleksii Nalapko(2019). “The Method of Improving the Efficiency of Routes Selection in Networks of Connection with the Possibility of Self-Organization”. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. No. 1.2., Vol. 8. pp. 1–6. DOI: [10.30534/ijatcse/2019/0181.22019](https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/0181.22019).

214. Shyshatskyi, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O. and Neroznak, Ye(2020). “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>.

215. C. Pozna, R. -E. Precup, E. Horváth and E. M. Petriu(2022). “Hybrid Particle Filter–Particle Swarm Optimization Algorithm and Application to Fuzzy Controlled Servo Systems,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 30, No. 10, pp. 4286–4297, Oct. 2022, <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2022.3146986>.

216. Yang X.S. and Deb. S (2014). “Cuckoo search: recent advances and applications”. *Neural Computing and Applications*. Vol. 24, pp. 169–174. <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1367-1>.

217. Mirjalili, S (2015). “The ant lion optimizer”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 83, pp. 80–98. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.01.010>.

218. James J.Q. Yu. and Victor O. K. Li (2015) “A social spider algorithm for global optimization”. *Applied Soft Computing*. Vol. 30, pp. 614–627. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.02.014>.

219. Mirjalili, S, Mirjalili, S.M, Lewis, A (2014) “Grey Wolf Optimizer”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 69, pp. 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>.

220. Koval, V., Nechyporuk, O., Shyshatskyi, A., Nalapko, O., Shknai, O., Zhyvylo, Y., Yerko, V., Kreminskyi, B., Kovbasiuk, O., Bychkov, A. (2023). Improvement of the optimization method based on the cat pack algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.9 (121), pp. 41–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273786>.

221. Gupta, E and Saxena, A (2015). “Robust generation control strategy based on Grey Wolf Optimizer”. *Journal of Electrical Systems*. Vol. 11, pp.174–188.

222. Chaman-Motlagh A (2015). “Superdefect Photonic Crystal Filter Optimization Using Grey Wolf Optimizer”. *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 27, No. 22, pp. 2355–2358. <https://doi.org/10.1109/LPT.2015.2464332>.

223. Nuaekaew, K., Artrit, P., Pholdee, N. and Bureerat, S (2017) “Optimal reactive power dispatch problem using a two-archive multi-objective grey wolf optimizer”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 87, pp. 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.06.009>.
224. 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 (2022). *Eastern-european journal of enterprise technologies*, Vol. 5, No. 9 (119), pp. 34–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266009.
225. Ali, M., El-Hameed, M.A. and Farahat M.A. (2017) “Effective parameters’ identification for polymer electrolyte membrane fuel cell models using grey wolf optimizer”. *Renewable Energy*. Vo. 111, pp. 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.036>.
226. Zhang, S. and Zhou, Y (2017). “Template matching using grey wolf optimizer with lateral inhibition”. *Optik*. Vol. 130, pp. 1229–1243. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.11.173>.
227. Khouni, S. E., Menacer, T(2024). “Nizar optimization algorithm: a novel metaheuristic algorithm for global optimization and engineering applications”. *The Journal of Supercomputing*. Vol. 80, pp. 3229–3281. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05579-4>.
228. Saremi, S, Mirjalili, S. and Lewis, A (2017). “Grasshopper optimisation algorithm: theory and application”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 105, pp. 30–47. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.01.004>.
229. Braik, M.S (2021). “Chameleon swarm algorithm: a bio-inspired optimizer for solving engineering design problems”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 174, 114685. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114685>.
230. Thamer, K. A., Sova, O., Shaposhnikova, O., Yashchenok, V., Stanovska, I., Shostak, S., Rudenko, O., Petruk, S., Matsyi, O., & Kashkevich, S. (2024). “Development of a solution search method using a combined bio-inspired algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205>.
231. Yapici, H and Cetinkaya, N (2019) “A new meta-heuristic optimizer: Pathfinder algorithm”. *Applied Soft Computing*. Vol. 78, pp. 545–568. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.012>.
232. Duan, H. and Qiao, P (2014). “Pigeon-inspired optimization: a new swarm intelligence optimizer for air robot path planning”. *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*. Vol. 7, Iss. 1, pp.24–37. <https://doi.org/10.1108/IJICC-02-2014-0005>.
233. Shyshatskyi, A., Romanov, O., Shknai, O., Babenko, V., Koshlan, O., Pluhina, T., Biletska, A., Stasiuk, T., Kashkevich, S., & Kryvosheiev, V. (2023). “Development of

a solution search method using the improved emperor penguin algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 4 (126), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.291008>.

234. Yang, X.S (2012). “Flower pollination algorithm for global optimization”. *Unconventional computing and natural computation*. pp. 240–249, https://doi.org/10.1007/978-3-642-32894-7_27.

235. Gomes, G.F, da Cunha, S.S. and Ancelotti A.C (2019). “A sunflower optimization (SFO) algorithm applied to damage identification on laminated composite plates”. *Engineering with Computers*. Vol. 35, Iss. 2: pp.619–626. <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0620-8>.

236. Mehrabian, A.R, Lucas, C (2006). “A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization”. *Ecological Informatics*. Vol. 1, Iss. 4, pp. 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2006.07.003>.

237. Qi X, Zhu, Y, Chen, H, et al (2013). “An idea based on plant root growth for numerical optimization”. *Intelligent Computing Theories and Technology*. Berlin, Heidelberg, pp. 571–578. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39482-9_66.

238. Bezuhlyi, V., Oliynyk, V., Romanenko I., Zhuk, O., Kuzavkov, V., Borysov, O., Korobchenko, S., Ostapchuk, E., Davydenko, T., & Shyshatskyi, A. (2021). “Development of object state estimation method in intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 3 (113), pp. 54–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239854>.

239. Mahdi Q. A., Shyshatskyi A., Prokopenko Y., Ivakhnenko T., Kupriyenko D., Golian V., Lazuta R., Kravchenko S., Protas N. & Momit A.(2021). “Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 9(111), pp. 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>.

240. 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*, Vol. 3, No. 4 (117)), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259727>.

241. Zhang, H, Zhu, Y, and Chen ,H (2014). “Root growth model: a novel approach to numerical function optimization and simulation of plant root system”. *Soft Computing*, Vol. 18, Iss. 3, pp. 521–537. <https://doi.org/10.1007/s00500-013-1073-z>.

242. Labbi, Y, Attous, D.B., Gabbar, H.A et al (2016) “A new rooted tree optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect”. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Vol. 79, pp. 298–311. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.01.028>.

243. Murase ,H (2000) “Finite element inverse analysis using a photosynthetic algorithm”. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 29, Iss.1–2, pp.115–123. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00139-3).
244. Zhao S, Zhang T, Ma S et al (2022) “Dandelion optimizer: a nature–inspired metaheuristic algorithm for engineering applications”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 114, 105075. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105075>.
245. Paliwal, N., Srivastava, L. and Pandit, M(2022). “Application of grey wolf optimization algorithm for load frequency control in multi-source single area power system”. *Evolutionary Intelligence*. Vol. 15, pp. 563–584. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00530-5>.
246. Dorigo, M and Blum, C(2005). “Ant colony optimization theory: a survey”. *Theoretical Computer Science*. Vol. 344, pp. 243–278. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2005.05.020>.
247. Poli R, Kennedy, J and Blackwell, T.(2007). “Particle swarm optimization: an overview”. *Swarm Intelligence*, Vol. 1, pp. 33–57. <https://doi.org/10.1007/s11721-007-0002-0>.
248. Bansal J.C., Sharma H., Jadon S.S. and Clerc, M(2014). “Spider Monkey Optimization algorithm for numerical optimization.” *Memetic Computing*. Vol. 6, pp. 31–47. <https://doi.org/10.1007/s12293-013-0128-0>
249. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V., Kuzavkov, V., Babeliuk, O., Derevianko, M. and Kovalov, H(2021). “The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment”. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Vol 11, No. 05., pp. 37 –41. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05.
250. Alan D. Maccarone, John N. Brzorad and Heather M. Stone (2008) “Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights,” *Waterbirds*. Vol. 31, No. 4, pp. 541– 549.
251. Ramaji, I. J. and Memari, A. M(2018). “Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models”. *Automation in Construction*. No. 90. pp. 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.
252. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L. and Rosa-Remedios, C. B(2019). “Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management”. *Expert Systems with Applications*. No. 120. pp. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>.
253. Chen, H(2018). “Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process”. *Procedia Computer Science*. No. 131. pp. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>.

254. Chan, H. K., Sun, X. and Chung, S.-H(2019) “When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process?” *Decision Support Systems*. pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>.
255. Osman, A. M. S(2019). “A novel big data analytics framework for smart cities”. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 91., pp. 620–633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>.
256. Nechyporuk, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Kravchenko, S., Nalapko, O., Shknai, O., Klimovych, S., Kravchenko, O., Kovbasiuk, O. and 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>.
257. Merrikh-Bayat F (2015).“The runner-root algorithm: a metaheuristic for solving unimodal and multimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature”. *Applied Soft Computing*. Vol. 33, pp. 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.04.048>.
258. Poliarus , O., Krepych , S., & Spivak , I. (2023). “Hybrid approach for data filtering and machine learning inside content management system”. *Advanced Information Systems*, 7(4), 70–74. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.09>
259. Balochian, S and Baloochian, H (2019). “Social mimic optimization algorithm and engineering applications”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 134, pp. 178–191. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.035>.
260. Melvix J. L (2014). “Greedy politics optimization. Metaheuristic inspired by political strategies adopted during state assembly elections”. *International advance computing conference (IACC), IEEE*, pp 1157–1162, <https://doi.org/10.1109/IAAdCC.2014.6779490>.
261. Moosavian, N, Roodsari, B.K et al (2013). “Soccer league competition algorithm, a new method for solving systems of nonlinear equations. *International Journal of Intelligence Science*. Vol. 4, No. 1, pp. 7–16. <https://doi.org/10.4236/ijis.2014.41002>.
262. Hayyolalam, V, Kazem, A.A.P (2020). “Black widow optimization algorithm: a novel meta-heuristic approach for solving engineering optimization problems”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 87, 103249. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103249>.
263. Abualigah, L, Yousri D, Abd Elaziz M et al (2021). “Aquila optimizer: a novel meta-heuristic optimization algorithm”. *Computers & Industrial Engineering* Vol. 157, 107250. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107250>.
264. Hodlevskyi, M., & Burlakov, G. (2023). “Information technology of quality improvement planning of process subsets of the spice model”. *Advanced Information Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 52–59. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.06>

265. Askari, Q, Younas, I and Saeed, M (2020) “Political optimizer: A novel socio-inspired meta-heuristic for global optimization”. *Knowledge-Based Systems*. Vol. 195, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105709>.
266. Mohamed, A.W, Hadi A.A and Mohamed A.K (2020) “Gaining-sharing knowledge based algorithm for solving optimization problems: a novel nature-inspired algorithm”. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. Vol. 11, Iss. 7, pp. 1501–1529. <https://doi.org/10.1007/s13042-019-01053-x>.
267. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A. and Váncza, J(2019). “Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems”. *CIRP Annals*. Vol. 68. No.1. pp. 471–474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>.
268. Harding, J. L.(2013). “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*. XL-2/W1.pp. 59–63. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-59-2013.
269. Orouskhani, M., Orouskhani, Y., Mansouri, M. and Teshnehlab, M. (2013) “A novel cat swarm optimization algorithm for unconstrained optimization problems”, *International Journal “Information Technology and Computer Science”*, No. 11, pp. 32 – 41.
270. Karaboga, D and Basturk B(2007). “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm”. *Journal of Global Optimization*. Vol. 39, pp. 459–471. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x>.
271. Fister I, Yang XS and Brest J(2013). “A comprehensive review of firefly algorithms”. *Swarm and Evolutionary Computation*. Vol. 13, pp. 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2013.06.001>.
272. 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*, Vol. 2, No. 3 (116), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>.
273. Khudov, H., Khizhnyak , I., Glukhov, S., Shamrai, N., & Pavlii , V. (2024). The method for objects detection on satellite imagery based on the firefly algorithm. *Advanced Information Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 5–11. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.01>.
274. Owaid, S. R., Zhuravskyi, Y., Lytvynenko, O., Veretnov, A., Sokolovskyi, D., Plekhova, G., Hrinkov, V., Pluhina, T., Neronov, S., & Dovbenko, O. (2024). “Development of a method of increasing the efficiency of decision-making in organizational and technical systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise*

Technologies, Vol. 1, No.4 (127), pp. 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298568>.

275. Tyurin, V., Bieliakov, R., Odarushchenko, E., Yashchenok, V., Shaposhnikova, O., Lyashenko, A., Stanovskyi, O., Melnyk, B., Sus, S., & Dvorskyi, M. (2023). “Development of a solution search method using an improved locust swarm algorithm”. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, No. 4 (125), pp. 25–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287316>.

276. Yakymiak, S., Vdovytskyi, Y., Artabaiev, Y., Degtyareva, L., Vakulenko, Y., Nevhad, S., Andronov, V., Lazuta, R., Shapoval, P., & Artamonov, Y. (2023). “Development of the solution search method using the population algorithm of global search optimization”. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, No. 4 (123), pp. 39–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281007>.

277. Mohammed, B. A., Zhuk, O., Vozniak, R., Borysov, I., Petrozhalko, V., Davydov, I., Borysov, O., Yefymenko, O., Protas, N., & Kashkevich, S. (2023). Improvement of the solution search method based on the cuckoo algorithm . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2, No. 4 (122), pp. 23–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277608>.

278. Raskin, L., Sukhomlyn, L., Sokolov, D., & Vlasenko, V. (2023). “Multi-criteria evaluation of the multifactor stochastic systems effectiveness”. Advanced Information Systems, Vol. 7, No. 2, pp. 63–67. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.09>.

279. Arora S, Singh, S (2019). “Butterfly optimization algorithm: a novel approach for global optimization”. Soft Computing. Vol. 3, pp. 715–734. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3102-4>.

280. 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>.

281. 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. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205> .

282. 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>.

283. 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>.
284. Kashkevich, S., Dmytriieva, O., Trotsko, O., Shknai, O., Shyshatskyi, A.. Mathematical model of information conflict of information networks. ScienceRise, 2024, No. 1, pp. 3–13. doi: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003395>.
285. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Єфименко О. В., Плехова Г.А., Шишацький А. В. Методи оцінки стану складних динамічних об'єктів з використанням біоінспірованих алгоритмів. С91 Moderní aspekty vědy: XLIV. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. С.138–177. <https://doi.org/10.52058/44-2024>.
286. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Троцько О.О., Шкнай О. В., Шишацький А. В. Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів. 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. С. 192–218. DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.210.
287. Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Lytvynenko, O., Borysov, I., Vakulenko, Y., Mukashev, T., Mordovtsev, O., Kashkevich, S., Lyashenko, A., Velychko, V. Development of a method for assessing the state of dynamic objects using a combined swarm algorithm. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, Vol. 3, No. 4 (129), pp. 44–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304131>.
288. Svitlana Kashkevich, Olexander Litvinenko, Andrii Shyshatskyi, Serhii Salnyk, Vira Velychko. The method of self-organization of information networks in the conditions of the complex influence of destabilizing factors. Сучасні інформаційні системи. 2024. Т. 8, № 3. С. 59–79. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.07>.
289. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Плехова Г. А., Протас Н. М., Неронов С. М., Шишацький А. В. Науково-методичний підхід з підвищення оперативності обробки різнотипних даних з використанням метаевристичних алгоритмів. С91 Moderní aspekty vědy: XLVI. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. С. 510–543. <https://doi.org/10.52058/46-2024>.
290. Olexander Litvinenko, Svitlana Kashkevich, Andrii Shyshatskyi, Oksana Dmytriieva, Serhii Neronov, Ganna Plekhova. The method of self-organization of information networks in the conditions of destabilizing influences . Information and

- control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 3–34. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH1.
291. Svitlana Kashkevich, Andrii Shyshatskyi, Oksana Dmytriieva, Yevhen Zhyvylo, Ganna Plekhova, Serhii Neronov. The development of management methods based on bio-inspired algorithms. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 35–69. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH2.
292. Svitlana Kashkevich, Nina Kuchuk, Oleksii Kuvshynov, Ganna Plekhova, Oleksandr Yefymenko, Andrii Veretnov. The development of methods for evaluating the state of complex technical systems using artificial intelligence theory. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 70–101. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH3.
293. Svitlana Kashkevich, Heorhii Kuchuk, Ganna Plekhova, Viacheslav Davydov, Oleksandr Yefymenko, Yurii Beketov. The development of methods of learning artificial neural networks of intelligent decision-making support systems. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 102–136. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH4 .
294. Svitlana Kashkevich, Illia Dmytriiev, Inna Shevchenko, Oleksandr Lytvynenko, Lyubov Shabanova-Kushnarenko, Nataliia Apenko. Scientific-method apparatus for improving the efficiency of information processing using artificial intelligence. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 137–167. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH5.
295. Принцип роботи систем III. Перспективні технології в Україні: URL: bit.ly/3TCLwYO (дата звернення: 18.01.2025)
296. Оптимізація для пошукових систем: bit.ly/43mvpln (дата звернення: 22.09.2024)
297. Розпізнавання образів: URL: bit.ly/3Tc8hS8 (дата звернення: 24.09.2024)
298. Розпізнавання образів: URL: bit.ly/3TIBHgX (дата звернення: 25.09.2024)
299. Теорія розпізнавання образів: URL: bit.ly/3VjYiNi (дата звернення: 28.09.2024)
300. Система розпізнавання і система локалізації: URL: <https://sites.google.com/site/navcalnijsajtdlastudentivvnz/teoreticni-osnovi-informatiki/dodatkovij-teoreticno-prakticnijmaterial/teoria-rozpiznavanna> (дата звертання 10.10.2024)

301. Розпізнавання осіб: URL: https://greenvision.ua/ua/blog/articles/Tekhnologiya_raspoznavaniya_lits (дата звертання 23.10.2024)
302. Відеокамера Варифокальна лінза: URL: https://xn--80adgboqrpy5j.com.ua/Dahua_DH-SD22204T-GN (дата звертання 7.11.2024)
303. Глибовець М. М., Олецький О.В., Штучний інтелект.— Київ: «Києво-Могилянська академія», 2002.— 364 с.
304. Засоби штучного інтелекту: навч. посіб. / Р. О. Ткаченко, Н. О. Кустра, О. М. Павлюк, У. В. Поліщук; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 204 с.: іл. — Бібліогр.: с. 200
305. Гітіс В. Б. , Гудкова К. Ю. Методи штучного інтелекту: навч. посіб. /— Краматорськ: ДДМА, 2018.— 136 с.
306. Dudnyk, V., Sinenko, Yu., Matsyk, M., Demchenko, Ye., Zhyvotovskiy, R., Repilo, Iu., Zabolotnyi, O., Simonenko, A., Pozdniakov, P., Shyshatskiy, A (2020). “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), pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.
307. Sova, O., Shyshatskiy, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., & Hrokholskiy, Y. (2021). “Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment”. EUREKA: Physics and Engineering, Vol. (4), pp. 30-40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>.
308. Pievtsov, H., Turinskyi, 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, Vol. (4), pp. 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.
309. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O., Adamenko, M., Shyshatskiy, A., Neroznak, Y. and Velychko, V(2020). “Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems”, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 4, No.9 (106), pp.14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.
310. Nina Kuchuk, Amin Salih Mohammed, Andrii Shyshatskiy and Oleksii Nalapko(2019). “The Method of Improving the Efficiency of Routes Selection in Networks of Connection with the Possibility of Self-Organization”. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. No. 1.2., Vol. 8. pp. 1–6. DOI: [10.30534/ijatcse/2019/0181.22019](https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/0181.22019).
311. Shyshatskiy, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O. and Neroznak, Ye(2020). “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>.
312. C. Pozna, R. -E. Precup, E. Horváth and E. M. Petriu(2022). “Hybrid Particle Filter–Particle Swarm Optimization Algorithm and Application to Fuzzy Controlled Servo Systems,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 30, No. 10, pp. 4286–4297, Oct. 2022, <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2022.3146986>.
313. Yang X.S. and Deb. S (2014). “Cuckoo search: recent advances and applications”. *Neural Computing and Applications*. Vol. 24, pp. 169–174. <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1367-1>.
314. Mirjalili, S (2015). “The ant lion optimizer”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 83, pp. 80–98. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.01.010>.
315. James J.Q. Yu. and Victor O. K. Li (2015) “A social spider algorithm for global optimization”. *Applied Soft Computing*. Vol. 30, pp. 614–627. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.02.014>.
316. Mirjalili, S, Mirjalili, S.M, Lewis, A (2014) “Grey Wolf Optimizer”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 69, pp. 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>.
317. Koval, V., Nechyporuk, O., Shyshatskyi, A., Nalapko, O., Shknai, O., Zhyvylo, Y., Yerko, V., Kreminskyi, B., Kovbasiuk, O., Bychkov, A. (2023). Improvement of the optimization method based on the cat pack algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.9 (121), pp. 41–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273786>.
318. Gupta, E and Saxena, A (2015). “Robust generation control strategy based on Grey Wolf Optimizer”. *Journal of Electrical Systems*. Vol. 11, pp.174–188.
319. Chaman-Motlagh A (2015). “Superdefect Photonic Crystal Filter Optimization Using Grey Wolf Optimizer”. *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 27, No. 22, pp. 2355–2358. <https://doi.org/10.1109/LPT.2015.2464332>.
320. Nuaekaew, K., Artrit, P., Pholdee, N. and Bureerat, S (2017) “Optimal reactive power dispatch problem using a two-archive multi-objective grey wolf optimizer”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 87, pp. 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.06.009>.
321. 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 (2022). *Eastern-european journal of enterprise technologies*, Vol. 5, No. 9 (119), pp. 34–44. DOI: [10.15587/1729-4061.2022.266009](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009).
322. Ali, M., El-Hameed, M.A. and Farahat M.A. (2017) “Effective parameters’ identification for polymer electrolyte membrane fuel cell models using grey wolf

- optimizer”. *Renewable Energy*. Vol. 111, pp. 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.036>.
323. Zhang, S. and Zhou, Y (2017). “Template matching using grey wolf optimizer with lateral inhibition”. *Optik*. Vol. 130, pp. 1229–1243. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.11.173>.
324. Khouni, S. E., Menacer, T(2024). “Nizar optimization algorithm: a novel metaheuristic algorithm for global optimization and engineering applications”. *The Journal of Supercomputing*. Vol. 80, pp. 3229–3281. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05579-4>.
325. Saremi, S, Mirjalili, S. and Lewis, A (2017). “Grasshopper optimisation algorithm: theory and application”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 105, pp. 30–47. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.01.004>.
326. Braik, M.S (2021). “Chameleon swarm algorithm: a bio-inspired optimizer for solving engineering design problems”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 174, 114685. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114685>.
327. Thamer, K. A., Sova, O., Shaposhnikova, O., Yashchenok, V., Stanovska, I., Shostak, S., Rudenko, O., Petruk, S., Matsyi, O., & Kashkevich, S. (2024). “Development of a solution search method using a combined bio-inspired algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205>.
328. Yapici, H and Cetinkaya, N (2019) “A new meta-heuristic optimizer: Pathfinder algorithm”. *Applied Soft Computing*. Vol. 78, pp. 545–568. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.012>.
329. Duan, H. and Qiao, P (2014). “Pigeon-inspired optimization: a new swarm intelligence optimizer for air robot path planning”. *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*. Vol. 7, Iss. 1, pp.24–37. <https://doi.org/10.1108/IJICC-02-2014-0005>.
330. Shyshatskyi, A., Romanov, O., Shknai, O., Babenko, V., Koshlan, O., Pluhina, T., Biletska, A., Stasiuk, T., Kashkevich, S., & Kryvosheiev, V. (2023). “Development of a solution search method using the improved emperor penguin algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 4 (126), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.291008>.
331. Yang, X.S (2012). “Flower pollination algorithm for global optimization”. *Unconventional computing and natural computation*. pp. 240–249, https://doi.org/10.1007/978-3-642-32894-7_27.
332. Gomes, G.F, da Cunha, S.S. and Ancelotti A.C (2019). “A sunflower optimization (SFO) algorithm applied to damage identification on laminated composite plates”. *Engineering with Computers*. Vol. 35, Iss. 2: pp.619–626. <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0620-8>.

333. Mehrabian, A.R, Lucas, C (2006). “A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization”. *Ecological Informatics*. Vol. 1, Iss. 4, pp. 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2006.07.003>.
334. Qi X, Zhu, Y, Chen, H, et al (2013). “An idea based on plant root growth for numerical optimization”. *Intelligent Computing Theories and Technology*. Berlin, Heidelberg, pp. 571–578. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39482-9_66.
335. Bezuhlyi, V., Oliynyk, V., Romanenko I., Zhuk, O., Kuzavkov, V., Borysov, O., Korobchenko, S., Ostapchuk, E., Davydenko, T., & Shyshatskyi, A. (2021). “Development of object state estimation method in intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 3 (113), pp. 54–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239854>.
336. Mahdi Q. A., Shyshatskyi A., Prokopenko Y., Ivakhnenko T., Kupriyenko D., Golian V., Lazuta R., Kravchenko S., Protas N. & Momit A.(2021). “Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 9(111), pp. 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>.
337. 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*, Vol. 3, No. 4 (117)), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259727>.
338. Zhang, H, Zhu, Y, and Chen ,H (2014). “Root growth model: a novel approach to numerical function optimization and simulation of plant root system”. *Soft Computing*, Vol. 18, Iss. 3, pp. 521–537. <https://doi.org/10.1007/s00500-013-1073-z>.
339. Labbi, Y, Attous, D.B., Gabbar, H.A et al (2016) “A new rooted tree optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect”. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Vol. 79, pp. 298–311. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.01.028>.
340. Murase ,H (2000) “Finite element inverse analysis using a photosynthetic algorithm”. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 29, Iss.1–2, pp.115–123. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00139-3).
341. Zhao S, Zhang T, Ma S et al (2022) “Dandelion optimizer: a nature–inspired metaheuristic algorithm for engineering applications”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 114, 105075. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105075>.
342. Paliwal, N., Srivastava, L. and Pandit, M(2022). “Application of grey wolf optimization algorithm for load frequency control in multi-source single area power system”. *Evolutionary Intelligence*. Vol. 15, pp. 563–584. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00530-5>.

343. Dorigo, M and Blum, C(2005). “Ant colony optimization theory: a survey”. *Theoretical Computer Science*. Vol. 344, pp. 243–278. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2005.05.020>.
344. Poli R, Kennedy, J and Blackwell, T.(2007). “Particle swarm optimization: an overview”. *Swarm Intelligence*, Vol. 1, pp. 33–57. <https://doi.org/10.1007/s11721-007-0002-0>.
345. Bansal J.C., Sharma H., Jadon S.S. and Clerc, M(2014). “Spider Monkey Optimization algorithm for numerical optimization.” *Memetic Computing*. Vol. 6, pp. 31–47. <https://doi.org/10.1007/s12293-013-0128-0>
346. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V., Kuzavkov, V., Babeliuk, O., Derevianko, M. and. Kovalov, H(2021). “The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment”. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Vol 11, No. 05., pp. 37 –41. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05.
347. Alan D. Maccarone, John N. Brzorad and Heather M. Stone (2008) “Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights,” *Waterbirds*. Vol. 31, No. 4, pp. 541– 549.
348. Ramaji, I. J. and Memari, A. M(2018). “Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models”. *Automation in Construction*. No. 90. pp. 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.
349. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L. and Rosa-Remedios, C. B(2019). “Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management”. *Expert Systems with Applications*. No. 120. pp. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>.
350. Chen, H(2018). “Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process”. *Procedia Computer Science*. No. 131. pp. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>.
351. Chan, H. K., Sun, X. and Chung, S.-H(2019) “When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process?” *Decision Support Systems*. pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>.
352. Osman, A. M. S(2019). “A novel big data analytics framework for smart cities”. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 91., pp. 620–633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>.
353. Nechyporuk, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Kravchenko, S., Nalapko, O., Shknai, O., Klimovych, S., Kravchenko, O., Kovbasiuk, O. and 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>.

354. Merrikh-Bayat F (2015). “The runner-root algorithm: a metaheuristic for solving unimodal and multimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature”. *Applied Soft Computing*. Vol. 33, pp. 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.04.048>.

355. Poliarus , O., Krepych , S., & Spivak , I. (2023). “Hybrid approach for data filtering and machine learning inside content management system”. *Advanced Information Systems*, 7(4), 70–74. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.09>

356. Balochian, S and Baloochian, H (2019). “Social mimic optimization algorithm and engineering applications”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 134, pp. 178–191. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.035>.

357. Melvix J. L (2014). “Greedy politics optimization. Metaheuristic inspired by political strategies adopted during state assembly elections”. *International advance computing conference (IACC)*, IEEE, pp 1157–1162, <https://doi.org/10.1109/IAdCC.2014.6779490>.

358. Moosavian, N, Roodsari, B.K et al (2013). “Soccer league competition algorithm, a new method for solving systems of nonlinear equations. *International Journal of Intelligence Science*. Vol. 4, No. 1, pp. 7–16. <https://doi.org/10.4236/ijis.2014.41002>.

359. Hayyolalam, V, Kazem, A.A.P (2020). “Black widow optimization algorithm: a novel meta-heuristic approach for solving engineering optimization problems”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 87, 103249. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103249>.

360. Abualigah, L, Yousri D, Abd Elaziz M et al (2021). “Aquila optimizer: a novel meta-heuristic optimization algorithm”. *Computers & Industrial Engineering* Vol. 157, 107250. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107250>.

361. Hodlevskyi, M., & Burlakov, G. (2023). “Information technology of quality improvement planning of process subsets of the spice model”. *Advanced Information Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 52–59. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.06>

362. Askari, Q, Younas, I and Saeed, M (2020) “Political optimizer: A novel socio-inspired meta-heuristic for global optimization”. *Knowledge-Based Systems*. Vol. 195, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105709>.

363. Mohamed, A.W, Hadi A.A and Mohamed A.K (2020) “Gaining-sharing knowledge based algorithm for solving optimization problems: a novel nature-inspired algorithm”. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. Vol. 11, Iss. 7, pp. 1501–1529. <https://doi.org/10.1007/s13042-019-01053-x>.

364. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A. and Váncza, J(2019). “Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems”. *CIRP Annals*. Vol. 68. No.1. pp. 471–474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>.

365. Harding, J. L.(2013). “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*. XL-2/W1.pp. 59–63. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-59-2013.
366. Orouskhani, M., Orouskhani, Y., Mansouri, M. and Teshnehlab, M. (2013) “A novel cat swarm optimization algorithm for unconstrained optimization problems”, *International Journal “Information Technology and Computer Science”*, No. 11, pp. 32 – 41.
367. Karaboga, D and Basturk B(2007). “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm”. *Journal of Global Optimization*. Vol. 39, pp. 459–471. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x>.
368. Fister I, Yang XS and Brest J(2013). “A comprehensive review of firefly algorithms”. *Swarm and Evolutionary Computation*. Vol. 13, pp. 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2013.06.001>.
369. 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*, Vol. 2, No. 3 (116), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>.
370. Khudov, H., Khizhnyak , I., Glukhov, S., Shamrai, N., & Pavlii , V. (2024). The method for objects detection on satellite imagery based on the firefly algorithm. *Advanced Information Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 5–11. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.01>.
371. Owaid, S. R., Zhuravskyi, Y., Lytvynenko, O., Veretnov, A., Sokolovskyi, D., Plekhova, G., Hrinkov, V., Pluhina, T., Neronov, S., & Dovbenko, O. (2024). “Development of a method of increasing the efficiency of decision-making in organizational and technical systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.4 (127), pp. 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298568>.
372. Tyurin, V., Bieliakov, R., Odarushchenko, E., Yashchenok, V., Shaposhnikova, O., Lyashenko, A., Stanovskyi, O., Melnyk, B., Sus, S., & Dvorskyi, M. (2023). “Development of a solution search method using an improved locust swarm algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 4 (125), pp. 25–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287316>.
373. Yakymiak, S., Vdovytskyi, Y., Artabaiev, Y., Degtyareva, L., Vakulenko, Y., Nevhad, S., Andronov, V., Lazuta, R., Shapoval, P., & Artamonov, Y. (2023). “Development of the solution search method using the population algorithm of global search optimization”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 4 (123), pp. 39–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281007>.

374. Mohammed, B. A., Zhuk, O., Vozniak, R., Borysov, I., Petrozhalko, V., Davydov, I., Borysov, O., Yefymenko, O., Protas, N., & Kashkevich, S. (2023). Improvement of the solution search method based on the cuckoo algorithm . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 4 (122), pp. 23–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277608>.
375. Raskin, L., Sukhomlyn, L., Sokolov, D., & Vlasenko, V. (2023). “Multi-criteria evaluation of the multifactor stochastic systems effectiveness”. *Advanced Information Systems*, Vol. 7, No. 2, pp. 63–67. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.09>.
376. Arora S, Singh, S (2019). “Butterfly optimization algorithm: a novel approach for global optimization”. *Soft Computing*. Vol. 3, pp. 715–734. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3102-4>.
377. 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>.
378. 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. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205> .
379. 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>.*
380. 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>.*
381. Kashkevich, S., Dmytriieva, O., Trotsko, O., Shknai, O., Shyshatskyi, A.. *Mathematical model of information conflict of information networks. ScienceRise*, 2024, No. 1, pp. 3–13. doi: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003395>.
382. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Єфименко О. В., Плехова Г.А., Шишацький А. В. Методи оцінки стану складних динамічних об’єктів з використанням біоінспірованих алгоритмів. С91 *Moderní aspekty vědy: XLIV. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika:*

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. C.138–177.
<https://doi.org/10.52058/44-2024>.

383. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Троцько О.О., Шкнай О. В., Шишацький А. В. Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів. 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. С. 192–218. DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.210.

384. Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Lytvynenko, O., Borysov, I., Vakulenko, Y., Mukashev, T., Mordovtsev, O., Kashkevich, S., Lyashenko, A., Velychko, V. Development of a method for assessing the state of dynamic objects using a combined swarm algorithm. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, Vol. 3, No. 4 (129), pp. 44–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304131>.

385. Svitlana Kashkevich, Olexander Litvinenko, Andrii Shyshatskyi, Serhii Salnyk, Vira Velychko. The method of self-organization of information networks in the conditions of the complex influence of destabilizing factors. Сучасні інформаційні системи. 2024. Т. 8, № 3. С. 59–79. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.07>.

386. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Плехова Г. А., Протас Н. М., Неронов С. М., Шишацький А. В. Науково-методичний підхід з підвищення оперативності обробки різнотипних даних з використанням метаевристичних алгоритмів. С91 Moderní aspekty vědy: XLVI. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. С. 510–543. <https://doi.org/10.52058/46-2024>.

387. Olexander Litvinenko, Svitlana Kashkevich, Andrii Shyshatskyi, Oksana Dmytriieva, Serhii Neronov, Ganna Plekhova. The method of self-organization of information networks in the conditions of destabilizing influences . Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 3–34. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH1.

388. Svitlana Kashkevich, Andrii Shyshatskyi, Oksana Dmytriieva, Yevhen Zhyvylo, Ganna Plekhova, Serhii Neronov. The development of management methods based on bio-inspired algorithms. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 35–69. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH2.

389. Svitlana Kashkevich, Nina Kuchuk, Oleksii Kuvshynov, Ganna Plekhova, Oleksandr Yefymenko, Andrii Veretnov. The development of methods for evaluating the state of complex technical systems using artificial intelligence theory. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 70–101. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH3.

390. Svitlana Kashkevich, Heorhii Kuchuk, Ganna Plekhova, Viacheslav Davydov, Oleksandr Yefymenko, Yurii Beketov. The development of methods of learning artificial neural networks of intelligent decision-making support systems. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 102–136. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH4 .
391. Svitlana Kashkevich, Illia Dmytriiev, Inna Shevchenko, Oleksandr Lytvynenko, Lyubov Shabanova-Kushnarenko, Nataliia Apenko. Scientific-method apparatus for improving the efficiency of information processing using artificial intelligence. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 137–167. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH5.
392. Official website of NAEK Energoatom. URL: <https://energoatom.com.ua/culture-safety>
393. Demidova Yu., Movmyga N. Formation of a culture of activity safety in the teaching of safety disciplines. Current issues in modern science. Seriya: Pedagogika. 2023. 3(9). P. 385-397.
394. Ihnatiuk O.A., Demidova Yu.Ye. Necessity of improving methods of forming knowledge on the psychology of professional safety in professional training of future engineers, psychologists and teachers of higher education. Pedagogy of formation of a creative personality in higher and secondary schools. 2015. No. 41 (94). P. 524-530.
395. Official website of Osvita. Ua. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/culture/10204/>
396. Pashchenko A.Y. The problem of general culture in the historical and pedagogical aspect. Aesthetic education of children and youth: theory, practice, development prospects: a collection of scientific works. Edited by O.A. Dubaseniuk, N.H. Sydoruk. Zhytomyr: I. Franko ZhSU Publishing House. 2012. P. 189-194.
397. Bliznyuk M. M. Safety culture as an element of general culture. Safety of life and human activity: theory and practice: a collection of scientific works of the All-Ukrainian scientific and practical conference. Edited by V.P. Titarenko, A. M. Khlopov. Poltava: PNPU. 2021. P. 11-18.
398. Tkachuk A.I., Pulyak O.V., Kononenko S.O. Personal and social safety. A course of lectures: A textbook for students of higher pedagogical educational institutions. Reprint, supplemented and revised. Kirovograd: Avangard Operational Printing Centre. 2013. 184pp.
399. Artemyev S.R., Malko O.D., Sharovatova O.P., et al. Culture of safety: a textbook. Kharkov: NUCSU. 2020. 172pp.
400. Kostyuk M. Formation of the peculiarity of the safe type of behavior. Zrównoważony rozwój. Debiut naukowy 2011. Redakcja naukowa Teresa Jemczura, Henryk Kretek. Racibórz. 2012. P. 269-276.

401. Mykhailyshyn U.B. Value Orientations in the Structure of Personality. Personality, Society, Law: Psychological Problems and Ways of Their Solution: Collection of Abstracts of the International Scientific and Practical Conference. Kharkiv: KHNU. 2017. P. 50-52
402. Motkov S.O. Values and meanings of personality: role, structure and functions. Psychological Journal. 2018. № 10. P. 105-128.
403. Madzigon V. Fedorova N. Abilities - creativity - giftedness of an individual . Pedagogical innovations: ideas, realities, prospects. 2018. № 2. P. 96-105.
404. Demidova Yu. Ye. The Formation of Safety Culture Activity of Leading Staff in Public Management. Theoretical and practical aspects of socio-economic scientific research: materials of the International Scientific and Practical Conference. Kiev: Similar European Center for Scientific Research. 2020. P. 194-196.
405. Gorlinsky V.V. Philosophy of Safety and Sustainable Human Development: Value Dimension: Monograph [Electronic resource]. Kyiv: View. Parapan. 2011. 390pp.
406. Maksimenko S.D., Rudenko Y.V., Kushneryova A.M., Nevmerzhitsky V.M. Mental health of a personality: a textbook for higher educational institutions. Kiev: "Vidavnistvo Lyudmila". 2021. 438pp.
407. Sergeyenkova O.P., Stolarchuk O.A., Kohanova O.P., Pasike O.V Age psychology. Educ. a manual. K.: Center for Educational Literature, 2012. 376 pp.
408. Moskalets V.P. Psychology of personality [Text] textbook. 3rd type. process. Supplement. Kiev: Lira-K Publishing House. 2020. 364 pp.
409. Kravchenko L.V. Psychological and pedagogical basis of formation of a culture of safety of life of students of pedagogical university: [Electron. resource]. Access mode: http://gnpu.edu.ua/files/vidanniy/visnik_19/v19_20_25.pdf
410. Belan V. Yu. Theoretical and methodological problems of upbringing of children and students. 2015. Iss. 19(1). P. 36-45.
411. Demidova Yu.Ye., Shakhova GA. Formation of competencies on safety of professional activity as an important component of mastering masters in higher education institutions. Bulletin of the Alfred Nobel Dnipropetrovsk University. Series "Pedagogy and Psychology". Pedagogical sciences. 2017. №1 (13). P. 182-187.
412. Movmyga N.E., Demidova Y.E., Maksymenko O.A. Resource provision of labour safety at modern enterprises. Theoretical foundations in research in Engineering: coll. Monograph: Torba A. et al. Boston: Primedia eLaunch. 2022. P. 144-161.
413. Movmyga N.Ye. Psychological and pedagogical aspects of formation of professional identity of the future specialist in labor protection. Virtus scientific journal. 2019. №37. P.113-119.

414. Movmyga N.E Formation of culture of life safety in the process of professional training. STEM education: scientific-practical aspects and prospects of development of the modern education system in war conditions: materials of all-Ukrainian scientific and pedagogical training. Odessa: Helvetika Publishing House. 2022. P.132-136
415. Movmyga N.E, Mezentseva I.O. Relevance of the issue of the primacy of managerial competence of future specialists in labour protection. Labyrinths of Reality: Collection of scientific works (based on materials of the 6th International scientific and practical conference). October 30-31. 2019. Montreal: CPM "ASF". 2019. Issue 1 (6). P. 48-51.
416. Tkachuk K.N., Molchak Y.O., and Kashtanov S.F., et al. Management of labour protection: Study guide. Lutsk: RVV LNTU, 2011. 288pp.
417. Romanchuk A. System management of labour protection at the enterprise. Management models: Inf. manual. Part 1. Illichivsk, 2010. 236pp.
418. Movmyga N.Ye., Mezentseva I.O. Modern trends in labour protection management: formation of a new type of specialist in labour protection and industrial safety. Scientific journal 'Young scientist'. 2019. №2 (66). Kherson: Publishing house 'Helvetica'. P.497-502.
419. Revenko N.G., Levchuk K.O. Management of labour protection. Dniprodzerzhynsk: DSTU. 2015. 236pp.
420. Berezutskyi V.V. Management of labour protection: study guide for students of the speciality 'Civilian Security'. Kharkiv: Panov A.M. 2021. 412pp.
421. Modern approaches to labour protection in vocational education institutions: Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference: October, 26, 2022. Bila Tserkva: BICPE SHEI 'UEM' of the national academy of sciences of Ukraine. 2022. 154pp.
422. Golinko V.I. Socio-economic monitoring of labour conditions: a textbook. Dnipro: NGU, 2017. 152pp.
423. Ronska O.G. Accounting and analysis of costs for labour protection and safety of personnel of enterprises. Dissertation for the degree of Candidate of Economic Sciences. Ternopil: TNEU. 2015. 200pp.
424. Online service for working with regulatory documents. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004
425. Eastern Interregional Department of the State Labour Service of Ukraine. URL: <https://smu.dsp.gov.ua/news/keruvannia-psykhosotsialnymy-ryzykamy-na-roboti-standart-iso-45003-2021/>
426. Official website of the journal Labour Protection and Fire Safety. URL: <https://oppb.com.ua/news>

427. Official website of the journal Labour Protection and Fire Safety. URL: <https://oppb.com.ua/articles/programa-sercya-y-umy-novitni-brytanski-praktyky-formuvannya-kultury-bezpeky-na>
428. Kulalaeva N. V. Formation of the culture of safety of professional activity of future skilled workers in the general scientific dimension. *New Collegium*. 2019. № 3(97). P. 65-71.
429. Kolot A.M. Motivation and motivational process at an industrial enterprise: modern understanding, basic provisions. *Bulletin of NTU 'KhPI'*. 2014. No. 64 (1106). P. 32-39.
430. Dnipro University of Technology. Case study № 57. URL: https://aop.nmu.org.ua/ua/naukova_robota_st/CaseChamp/SbZ.pdf
431. Kharchyshina O.V. Organizational culture: theoretical foundations and relationship with the competitiveness of the enterprise. Ensuring the socio-economic development of economic systems in a transitional economy: a collective monograph; edited by Dr. of Economics, Pr. V.K. Danylko, Dr. of Economics, Pr. H.M. Tarasiuk. *Zhytomyr: Zhytomyr State Technical University*. 2010. P. 182-202.
432. Movmyga N.E., Mezentseva I.O., et al. Occupational safety culture as a component of the professional activity of an occupational safety specialist *Science and technology today*. 2023. Issue 2 (16). P. 236-254.
433. Bochkovsky A.P. 'Human Factor' and Occupational Risk: Accident or Pattern. *Odesa: ONUT*, 2014. No 4(56). P. 7-13.
434. Netrobskyi O.A. Actualisation of the human factor in the sustainable development of mankind. *Processes, equipment, automation, management and economy*. 2012. No. 4(21). P. 100-103.
435. Halina O.V. Features of the human factor influence on the level of economic security of the enterprise. *Eastern Europe: Economics, Business and Management*. 2019. Issue 4(21). P. 341-346.
436. Movmyga N., Mezentseva I., & Pancheva G. Prevention of subjective causes of occupational injuries in the system of labour protection management. *Young scientist*. 2022. 1 (101). P. 111-119.
437. Industrial safety. Current models of safety culture maturity. URL: https://mev.gov.ua/sites/default/files/2022-05/Safety%20culture_Kiiv_2018.pdf
438. Бабаев А.Э., Кубенко В.Д. Нестационарная аэроупругость слоистых оболочек. В кн.: *Механика композитов* (под ред. А.Н. Гузя): в 12-и т.9. Динамика элементов конструкций. – Киев: А.С.К., 1999. – с. 247-261.
439. Головка К.Г., Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках (под ред. акад. НАН Украины А.Н. Гузя). – Киев: Изд. – полиграф. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.

440. Луговий П.З., Мейш В.Ф., Мейш Ю.А. Динаміка конструктивно-неоднорідних оболонкових структур: монографія – К.: Ліра-К, 2022. – 336 с.
441. Смелянова Т.А. Розв'язуюче рівняння вільних коливань тришарової циліндричної оболонки, яка підкріплена ребрами жорсткості – Вісник Херсонського нац. техн. ун-ту. – 2016. – 2, №57. – с.11-16.
442. Lugovoi P. Z., Gaidaichuk V.V., Skosarenko Yu.V., Kotenko K.E. Stress–Strain State of Three-Layer Cylindrical Shells with Reinforced Light Core Under Nonstationary Loading "International Applied Mechanics", 2021, 57(4), P. 395–404.
443. Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E. Stress - strain state of a three-layer cylindrical shell under internal axisymmetric pulse load c Strength of Materials and Theory of Structures. – 2020. – Issue. 105. – P.– 145-151.
444. Lugovyi P.Z., Gaidaichuk V.V., Orlenko S.P., Kotenko K. E. Dynamics of Asymmetric Three-Layer Hemispherical Shells with a Discrete-Inhomogeneous Filler Under Pulsed Loads // Strength of Materials. 2023. 59, № 2.-P. 265–276.
445. Meish V.F., Shrantzel S.E. Dynamic problems in the theory of sandwich shells of revolution with a discrete core under nonstationare loads. – Int. Appl. Mech. -2002.- 38, №12. – p.1501-1507.
446. Мейш В.Ф. До розрахунку нестационарних коливань тришарових пологих циліндричних оболонок з дискретним ребристим наповнювачем / В.Ф. Мейш, Ю.А. Мейш Ю.А., Таєверє Д.А. // Вісник Національного транспортного ун – ту. Ч. 2. – Київ: НТУ, 2008. – Вип. 17. – С. 409 – 414.
447. Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E., Lavinsky D. S. Impact of elasticity of polymer filler of three-layer cylindrical structure of elliptical section on its behavior under internal impulse loading / Опір матеріалів і теорія споруд: науково-техн. збірн.–К.: КНУБА, 2022, № 109. – P. 467-472.
448. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.:Мир, 1979. –392 с.
449. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 784 с
450. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Наука, 1966.– 636 с.
451. B. Sereda, D. Sereda. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts // MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY CONFERENCE AND EXHIBITION (MS&T2016), 23-27 October 2016, Salt Lake City, Utah, USA. – P. 945-948.
452. И. В. Кругляк, Б. П. Серета, Д.О. Кругляк. Получение многокомпонентных силицированных покрытий в режиме горения СВС-систем // Перспективні технології та прилади.– 2017. – № 10.– С. 89-97.

453. D. E. Andreev, K. V. Zakharov, V. I. Yukhvid, A. I. Letsko, T. L. Talako. Influence of Ti on the Structure and Phase Composition of CoCrTiWMoCAI Alloys Prepared by Centrifugal SHS // *Int. J. Self-Propagating High-Temp. Synth.* – 2022. – № 2. – PP. 89-94.
454. F.H. Froes, C. Suryanarayana, K. Russell, C.-G. Li. Synthesis of intermetallics by mechanical alloying // *J. Mat. Sci.* – 1995. – A192/193. – PP.612-623.
455. V. E. Olikier, V. L. Sirovatka, I. I. Timofeeva, T. Ya. Gridasova, Ye. F. Hrechyshkin. Formation of detonation coating based on titanium aluminide alloys and aluminium titanate ceramics sprayed from mechanically alloyed powders Ti-Al // *Surf. Coat. Technol.* – 2005. – Vol. 200, Iss.11. – PP.3573-3581.
456. O.P. Umanskyi, V. L. Sirovatka, M. S. Storozhenko, T. L. Talako, A.I. Letsko. Production of Composite Titanium Diboride Powder Materials and Coatings // *Powder Metal. Metal Ceram.* – 2019. – No. 5/6. – PP.137-143.
457. C. Li, S. Li, D. An, Z. Xie. Microstructure and mechanical properties of spark plasma sintered SiC ceramics aided by B₄C // *Ceram. Int.* – 2020. – Vol. 46, Iss. 8. – PP.10142–10146.
458. М.С. Стороженко, О.П. Уманський Зносостійкість електроіскрових покриттів з композиційних матеріалів (TiB₂-SiC)-(Ni-Cr) // *Адгезія розплавів та пайка матеріалів.* – 2009. – Вип. 42. – С.149-156.
459. К.П. Буйський, Л.В. Кравчук, Н.Н. Феофентов. Методи міцностних стендових випробувань моделей та елементів конструкцій ракетно-космічної техніки // *Вістник двигунобудування.* – 2019. – №2. С.150-158.
460. Д.В. Коробльов Зносостійка кераміка на основі системи B₄C-TiB₂-SiC // *Тугоплавкі, керамічні та композиційні матеріали.* – 2015. – № 6. – С.41-51.
461. С.С. Орданьян, Д.Д. Несмелов, Д.П. Данилов, Ю.П. Удалов. Про будову систем SiC-B₄C-MedB₂ та перспективи створення композиційних керамічних матеріалів на їх основі // *Тугоплавкі, керамічні та композиційні матеріали.* – 2016. – № 4. – С.41-50.
462. І.В.Смирнов, А.В. Чорний, В.К. Фурман, Н.А. Долгов. Вплив домішок нанодисперсних сполук оксидів на зносо- та корозійну стійкість плазмово-напилених покриттів // *Проблеми тертя та зношування.* – 2017. – № 1. – С.14-21.
463. С.А. Лузан, А.И. Сидашенко, А.С. Лузан. Отримання та дослідження відновлювальних покриттів на деталях машин з використанням механокомпозитів, які містять TiC и TiB₂ // *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.* – 2017. – Вип. 47, ч.ІІ. – С.159-166.
464. И.В. Смирнов, А.В. Чернов, В.К. Фурман, Н.А. Долгов. Вплив нанодисперсних модифікаторів на структуру та властивості плазмово напилених покриттів // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”. Сер. Матеріалознавство та машинобудування.* – 2017. – № 5. – С.65-71.

465. О.П. Реут, Б.Б. Хина, Л.В. Маркова, Э.Н Толстяк, В.В. Саранцев. Технологія нанесення покриттів на деталі на основі карбиду з СВС-реагентами // Лиття та металургія.– 2007. – № 1(41). – С.145-153.
466. С.А. Лузан, А.И. Сидашенко, А.С. Лузан. Підвищення зносостійкості наплавлених покриттів системи Ni-Cr-B-Si шляхом модифікування композиційними матеріалами, синтезованими з використанням композиційних матеріалів, синтезованими з використанням СВС-процесу // Сварочне виробництво. – 2019. – № 10. – С.15-20.
467. Xiuma Shi, Juanwu Cao, Zhipeng Li, Dongming Yan. Effect of the Addition of Carbon on the Sintering Properties of Bioron Carbide Ceramics prepared by Pressureless Sintering // International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering (IC3ME2015), Guangzhou, China, 27-28 June 2015. – PP.2069-2073.
468. Zhiping Luo, Yinggang Song, Shaoqing Zhang & Dean J. Miller. Interfacial Microstructure in a B4C/Al Composite Fabricated by Pressureless Infiltration // Metall and Mat. Trans. A. – 2012. – Vol. 43. – PP.281-293.
469. Roca Maria da Rocha, Francisco Cristovao Lourenco de Melo. Sintering of B4C by Pressureless Liquid Phase Sintering // 7th International Latin American Conference on Powder Technology, 08-10 November 2008, Atibaia, SP, Brazil. – PP.193-198.
470. Fan Zhang, Zhengyvi Fu, Jinyong Zhang, Hao Wang, Weilmin Wang, Yucheng Wang, and Jing Shi. Fast Densification of B4C Ceramics with Al2O3 as a Sintering Aid by Sparc Plasma Sintering // Mater. Sci. Forum. – 2009. – Vols. 620-622. – PP.395-398.
471. Wei Zhang, Seiji Yamashita, Hideki Kita. Tribological properties of SiC-B4C ceramics under dry sliding condition // J. Europ. Ceram. Soc. – 2020. – vol. 40. – PP.2855-2861.
472. Jun Ding, Jiliatao Wang, Hao Yang, Zhenglong Lin, Chao Yu, Xiangcheng Li, Chengji Deng and Hongxi Zhu. Improvement of Mechanical Properties of Composites with Surface Modified B4C for Precision Machining // Materials. – 2023.– vol. 16, Iss. 2.– Article 882. <https://doi.org/10.3390/ma16020882>.
473. A.Maitre, A. Vande Put, J.P. Laval, S. Valette, G. Trollied. Role of the Plasma Sintering of an α -SiC powder // J. Europ. Ceram. Soc. – 2008. – vol. 28, Iss. 9. – PP.1881-1890.
474. О. П. Уманський, М.С. Стороженко, А.Д. Панасюк, В.П. Коновал. Дослідження контактної взаємодії TiB2-SiC зі сплавами Ni-Cr // Адгезія розплавів та пайка матеріалів. –2008.– Вип.41. – С.36-43.
475. А.П. Уманський, М.С. Стороженко, В.В. Акопян, И.С. Марценюк. Электроискровое упрочнение стали композиционными материалами системы TiB2-(Fe-Mo) // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012.– № 9(96). – С.214-218.

476. O. Umanskyi, M. Storozhenko, V. Sheludko, V. Muratov, V. Krasovsky, V. Konoval, O. Vasiliev, O. Terentiev. High-temperature wetting and interfacial interaction in AlB12–Al system // *Functional Materials*. – 2021. – vol. 28, No. 1.– PP. 64-68.
477. A.P. Umanskyi, M.S. Storozhenko, V.E. Sheludko, V.B. Muratov, V.V. Kremenitsky, I.S. Martsenyuk, M.A. Vasilkovskaya, A.D. Kostenko, A.A. Vasiliev, A.E. Terentiev. Research of properties of AlB12–Al electric spark coatings on VT1-0 titanium alloy // *Functional Materials*. – 2021. – vol. 28, No. 4.– PP. 694-700.
478. A. P. Umanskyi, A. I. Dukhota, V. E. Sheludko, M. S. Storozhenko, V. B. Muratov, and M. A. Vasilkovskaya. Application of AlB12–Al Electric Spark Coatings to Protect Titanium Alloys During Wear Under Fretting Corrosion // *Metallophysics and Advanced Technologies*. – 2022. – vol. 44, No. 10. – PP. 1313–1322.
479. Розумовський Н.П., Богданович Д.М. Оптимізація вмісту протеїну в раціоні племінних бичків. Збірник наукових праць Білоцерківського національного аграрного університету. 2019. №1. С. 84-94. <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2019-147-1-84-94>.
480. Huuskonen A., Joki-Tokola E. Performance of growing dairy bulls offered diets based on silages made of whole-crop barley, whole-crop wheat, hairy vetch and grass. *Agricultural and Food Science*. 2010. Vol. 19 (2). P. 116-126. <https://doi.org/10.2137/145960610791542325>.
481. Кандиба В. М., Ібатуллін І. І., Костенко В. І. Актуальні інноваційні концепції перспективного розвитку науки про біологічно повноцінну поведінку високопродуктивних тварин в контексті творчого спадку академіка Г.О. Богданова : бібліографія. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2015. №205. С. 12–22.
482. Osmane B., Konosonoka I.H., Trupa A., Proskina L. Peas and beans as a protein feed for dairy cows. *Agronomy Research*. 2017. Vol.15 (5). P. 2026–2038. <https://doi.org/10.15159/AR.17.027>.
483. David L.S., Catootjie L. Nalle C.L., Abdollahi M.R., Ravindran V. Feeding Value of Lupins, Field Peas, Faba Beans and Chickpeas for Poultry: An Overview. *Animals*. 2024. Vol.14 (4). P. 619-658. <https://doi.org/10.3390/ani14040619>.
484. Volpelli L.A., Comellini M., Gozzi M., Masoero F., Moschini M. Pea (*Pisum sativum*) and Faba Beans (*Vicia faba*) in dairy cow diet: effect on milk production and quality. *Italian Journal of Animal Science*. 2012. Vol.11 (2). P. 217–222. <https://doi.org/10.4081/ijas.2012.e40>.
485. Räisänen S.E., Kuoppala K., Rissanen P., Halmemies-Beauchet Filleau A., Kokkonen T., Vanhatalo A. Effects of forage and grain legume-based silages supplemented with faba bean meal or rapeseed expeller on lactational performance,

- nitrogen utilization, and plasma amino acids in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2023. Vol. 109 (10). P. 6903-6920. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22997>.
486. Watson C.A., Reckling M., Preissel S., Bachinger J., Bergkvist G., Kuhlman T., Lindström K., Nemecek T., Topp C.F.E., Vanhatalo A., Zander P., Murphy-Bokern D., Stoddard F.L. Chapter four—Grain legume production and use in European agricultural systems. *Advances in Agronomy*. 2018. Vol. 144. P. 234-303. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.003>.
487. Савчук І.М., Ковальова С.П., Тимошенко З.А., Ящук І.В. Продуктивність бугайців та якість м'язової тканини і печінки за використання високобілкових кормів у раціонах. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 7. С. 36-43. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202207-04>.
488. Johnston D.J., Theodoridou K., Gordo A.W., Yan T., McRoberts W.C., Ferris C.P. Field bean inclusion in the diet of early-lactation dairy cows: Effects on performance and nutrient utilization. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102 (12). P. 10887–10902. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16513>.
489. Слобода О.М., Слобода Л.Я. Використання пелюшки в годівлі свійських тварин. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. 2010. Т.12, ч. 2(44). С. 228-230.
490. Halmemies-Beauchet-Filleau A., Rinne M., Lamminen M., Marato C., Amparon T., Wanapat M., Vanhatalo A. Alternative and novel feeds for ruminants: Nutritive value, product quality and environmental aspects. *Animals*. 2018. Vol.12. P. 295–309. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002252>.
491. Savchuk I., Romanchuk L., Yashchuk I., Kovalova S., Bondarchuk L. Monitoring of heavy metals in fodder and animal husbandry products of the Polissia zone of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2022. Том 25, №6. С. 45-54. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(6\).2022.45-54](https://doi.org/10.48077/scihor.25(6).2022.45-54).
492. Hashemi S. Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol.154 (15). P. 263-267. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.058>.
493. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин /за наук. ред. І.І. Ібатуліна і О.М. Жукорського. Київ: Аграрна наука, 2016. 336 с.
494. Савченко Ю.І., Савчук І.М., Савченко М.Г. [та ін.]. Використання зернобобових на корм при виробництві молока і м'яса в зоні Полісся України: монографія; за ред. Савченка Ю.І., Савчука І.М. Житомир: Рута, 2014. 206 с.
495. Гудков І.М., Лазарєв М.М. Проблеми реабілітації та повертання до використання забруднених радіонуклідами територій. *Збірник тез міжн. наук.-практ. конф. «Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення»*, м. Житомир, 26-27 квітня 2018. С.18-23.

496. Ландін В.П., Чоботько Г.М., Кучма М.Д., Райчук Л.А. Подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в аграрній сфері України. Агроекологічний журнал. 2017. № 2. С. 67-75. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220155>.

497. Наказ МОЗ України №256 від 03.05.2006 р. Про затвердження Державних гігієнічних нормативів «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді».

498. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи, у віддалений період : метод. рек. за ред. Б. С. Прістера. Київ : Атіка – Н, 2007. 196 с.

499. Наказ МОЗ України №1238 Державні санітарні правила і норми «Гранично допустимі рівні вмісту деяких забруднюючих речовин у харчових продуктах» (2020, травень).