

# MONOGRAPH

## TECHNICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT



DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.I  
ISBN 978-1-63732-136-2  
BOSTON (USA) – 2021  
ISG-KONF.COM

ISBN - 978-1-63732-136-2

DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.I

*Technical research and  
development*

*Collective monograph*

*Boston 2021*

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN - 978-1-63732-136-2

DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.I

Authors - Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., Khomenko V., Chernysh O., Makyeyeva I., Barsukov V., Litvin V., Zaporozhets A., Mikhalieva M., Odosii L., Кудрявцев П., Кудряшова О., Елохов А., Кудрявцев Н., Bilushchak Y., Chernukha O., Chuchvara A., Boyko N., Filinovich V., Belkin L., Iurynets J., Fursov I., Shmatko O., Tretyak V., Kolomiitsev O., Melenti Y., Havrysh B., Tymchenko O., Selmenska Z., Izonin I., Kalachova V., Misyura O., Huriev D., Zakirov Z., Kryzhanivskiy I., Kucheruk V., Hlushko M., Lukianchenko O., Kostina O., Pasieka N., Марчук В.І., Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А., Нікора І.В., Козирев В.Ю., Кодацький М.М., Третяк В.Ф., Чорненький О.В., Сачанюк-Кавецька Н., Ходякова Г., Ходякова Н., Lebedev L., Dubovik V., Rozen P., Osadchuk A., Osadchuk N., Osadchuk I., Бужин О.А., Menchynska A., Ivaniuta A., Manoli T., Strashynskiy I., Pasichniy V., Marynin A., Fursik O., Shevchenko T., Stukalska N., Kuzmin O., Koretska I., Polovyk V., Hrushevskaya I., Нікульшин В., Денисова А., Мельнік С., Андрющенко А., Височин В., Стеценко Н., Гойко І., Василенко О., Танірвердієв А., Стащенко М., Намчук О., Шаламова К., Польщикова Н., Тюрикова Е., Русол А., Быкова А., Лисаченко М., Maiorova K., Bychkov I., Riabikov S., Suponina V., Bychkov M., Novoselchuk N., Shevchenko L., Posternak I., Posternak S., Posternak O., Red'ko Y., Garanina O., Romanyuk E., Samoichuk K., Palianychka N., Vasylykivskiy I., Fedynets V., Yusyuk Y., Березовский С., Близнюк С.В., Онофрійчук О.П., Ковальський В., Бондарь А., Лемешев М., Очеретный В., Олейник Т.П., Семенова С.В., Кириленко Г.А., Маковецкая Е.А., Казанцева А.И., Польовик В.В., Березова Г.О., Стукальська Н.М., Кирпиченкова О.М., Корецька І.Л., Chernets M., Chernets Y., Kornienko A., Oparin S., Pelevin L., Gorbatyuk I., Terentyev O., Sviderskiy A., Peretiaka N., Savchenko O., Кириченко І.Г., Резніков О.О., Рукавишников Ю.В., Щукін О.В., Орел О.В., Піцишин Б.С., Орел В.І., Попадюк І.Ю., Fialko N., Prokopov V., Sherenkovskii J., Aleshko S., Meranova N., Kovalenko T., Serdiuk V., Lys S., Makarov V., Perov M., Kaplin M., Rymar T., Zayats M., Kazmiruk M., Sigarev E., Lobanov Y., Бошкова І.Л., Волгушева Н.В., Тітлов О.С., Альтман Е.І., Мукмінов І.І., Домнічев М.В., Нестеренко О.В., Близнюкова О.Ю., Ніжник Н., Сігал О., Плашихін С., Сафьянц А., Куценко В., Телюков С., Литовченко Д., Рыбалко Д., Рязанцев С., Chupaylenko A., Kozlov A., Polishchuk R., Chupaylenko A., Kozlov A., Bilokur M., Kalinichenko Y., Stenhach O., Alexandrovskaya N., Volovyk K., Kourov M., Kalinichenko Y., Stenhach O., Alexandrovskaya N., Volovyk K., Kourov M., Sharai S., Hilevska K., Lebid V., Sokulsky O., Vasiltsova N., Storozhuk S., Pronchenko A., Yesaulov S., Babicheva O., Симбирский Г.

Published by Primedia eLaunch

<https://primediaelance.com/>

Text Copyright © 2021 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2021 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.

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

The recommended citation for this publication is:

**Technical research and development:** collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2021. 616 p. Available at : DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.I

TABLE OF CONTENTS

1.	CHEMICAL TECHNOLOGY	
1.1	Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V. MODIFICATION OF FIRE-RETARDANT INTUMESCENT COATINGS	12
1.2	Khomenko V., Chernysh O., Makyeyeva I., Barsukov V. THE INFLUENCE OF ROLLING ON CHARACTERISTICS OF ELECTROCHEMICAL CAPACITORS	18
1.3	Litvin V., Zaporozhets A. SYNTHESIS, STRUCTURE AND PROPERTIES OF METAL-CARBON NANOCOMPOSITES BASED ON SYNTHETIC HUMIC SUBSTANCES	22
1.4	Mikhailieva M., Odosii L. IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF SURFACE WATER CONDITION	27
1.5	Кудрявцев П., Кудряшова О., Елохов А., Кудрявцев Н. НОВЫЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА: СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	31
2.	COMPUTER SCIENCE	
2.1	Bilushchak Y., Chernukha O., Chuchvara A. APPROXIMATION OF BOUNDARY CONDITION ACCORDING TO EXPERIMENTAL DATA ON THE LOWER SURFACE OF THE BODY DURING THE SIMULATION OF THE BULK WATER FILTER	64
2.2	Boyko N. CREATION OF INFORMATION SYSTEMS USING POWER ALGORITHMS	80
2.3	Filinovych V., Belkin L., Iurynets J. CYBERSECURITY GUARANTEES AS A FACTOR OF INFORMATION SECURITY	85
2.4	Fursov I., Shmatko O., Tretyak V., Kolomiitsev O., Melenti Y. INFORMATION SECURITY APPROACHES OF CYBER PHYSICAL SYSTEMS	92

2.5	Havrysh B., Tymchenko O., Selmenska Z., Izonin I. THE PRINCIPLE OF HIDING DATA IN JPEG FORMAT	108
2.6	Kalachova V., Misyura O., Huriev D., Zakirov Z., Kryzhanivskyi I. ANALYSIS OF POSITIVE EXPERIENCE OF EFFECTIVE APPLICATION OF DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES BY HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS OF UKRAINE DURING THE CORONIOVIRUS EPIDEMIC COVID-19	113
2.7	Kucheruk V., Hlushko M. IMPROVING ACCURACY OF RECOMMENDER SYSTEMS BASED ON COLLABORATIVE FILTERING ALGORITHM ITEM-TO-ITEM	119
2.8	Lukianchenko O., Kostina O. FINITE ELEMENT MODELING OF THIN-WALLED SHELL STRUCTURE WITH CRACKS	126
2.9	Pasieka N. STRUCTURING OF METHODS FOR SOLVING MATHEMATICAL AND APPLIED TASKS AND ITS INFORMATION ENTITY	130
2.10	Марчук В.І., Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АДІТИВНИХ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ	137
2.11	Нікора І.В., Козирєв В.Ю., Кодацький М.М., Третьак В.Ф., Чорненький О.В. МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ПІДХОДУ	142
2.12	Сачанюк-Кавецька Н. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІДЕНТИФІКАЦІЙНОЇ ЛОГІКО-ЧАСОВОЇ ФУНКЦІЇ	150
2.13	Ходякова Г., Ходякова Н. ПРОДВИНУТОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ JAVA STREAM API	160
3.	ELECTRICAL ENGINEERING	
3.1	Lebedev L., Dubovik V., Rozen P. TECHNOLOGICAL INFORMATION FRACTALS	170

4.	ELECTRONICS	
4.1	Osadchuk A., Osadchuk N., Osadchuk I. FREQUENCY TRANSDUCERS OF GAS CONCENTRATION FOR THE DIAGNOSIS OF STRAINS OF BACTERIA HELICOBACTER PYLORI	178
5.	ENGINEERING GRAPHICS	
5.1	Бужин О.А. ПОДІЛ ВІДРІЗКА НА ТРИ РІВНІ ЧАСТИНИ У ЗАДАЧАХ НА ПОБУДОВУ З ІНЖЕНЕРНОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ	195
6.	FOOD TECHNOLOGY	
6.1	Menchynska A., Ivaniuta A., Manoli T. IMPROVEMENT OF FISH SNACKS TECHNOLOGIES WITH THE APPLICATION OF BIOTECHNOLOGICAL FAT REMOVAL	200
6.2	Strashynskiy I., Pasichnyi V., Marynin A., Fursik O., Shevchenko T. MODERN TECHNOLOGICAL TECHNIQUES FOR IMPROVING THE QUALITY OF SMOKED SAUSAGES	216
6.3	Stukalska N., Kuzmin O., Koretska I., Polovyk V., Hrushevskaya I. SCIENTIFIC SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF BECHAMEL SAUCE OF THE INCREASED NUTRITIONAL VALUE	222
6.4	Нікульшин В., Денисова А., Мельнік С., Андрющенко А., Височин В. ОПТИМІЗАЦІЯ ОКРЕМИХ СТУПЕНІВ ВИПАРКИ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА	230
6.5	Стеценко Н., Гойко І. РОЗРОБЛЕННЯ СПОСОБУ ВИРОБНИЦТВА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗБАГАЧУВАЧА АНТИОКСИДАНТНОЇ ДІЇ НА ОСНОВІ ПЛОДІВ ПОМЕЛО ТА КОНТРОЛЬ ЙОГО ЯКОСТІ	235

7. HISTORY		
7.1	Василенко О., Танірвердієв А., Стащенко М., Намчук О., Шаламова К. ІСТОРИЧНИЙ АСПЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОВИХ ЗАСОБІВ В АРХІТЕКТУРІ УКРАЇНИ	241
7.2	Польщикова Н., Тюрикова Е., Русол А., Быкова А., Лисаченко М. РАЗВИТИЕ АРХИТЕКТУРЫ ЗАПАДНОЙ, ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ В V – X ВВ.	249
8. INNOVATIVE TECHNOLOGIES		
8.1	Maiorova K., Bychkov I., Riabikov S., Suponina V., Bychkov M. CONTROL OF PROPELLER FOR AN ULTRA-LIGHT TWIN-SEAT AIRCRAFT MANUFACTURING	256
8.2	Novoselchuk N., Shevchenko L. INNOVATIVE AND ECOLOGICAL FINISHING MATERIALS IN CHILDREN'S INSTITUTIONS	265
8.3	Posternak I., Posternak S., Posternak O. CSTC T-PPR: ORGANIZATIONAL MEASURES TECHNOLOGIES OF ENHANCING ENERGY EFFICIENCY OF RECONSTRUCTION BUILDINGS HISTORICAL BUILDING OF ODESSA	270
8.4	Red'ko Y., Garanina O., Romanyuk E. DEVELOPMENT OF TEXTILE MATERIALS WITH ELECTROMAGNETIC CHARACTERISTICS USING NANOTREATMENT AND SURFACE MODIFICATION	275
8.5	Samoichuk K., Palianychka N. ANALYTICAL STUDIES OF PISTON PULSATION HOMOGENIZATION OF MILK	297
8.6	Vasytkivskyi I., Fedynets V., Yusyk Y. THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING DEVICES BASED ON THERMAL BRIDGE CIRCUITS	317
8.7	Березовский С. nD НООН-МОДЕЛИ КОММУТАЦИОННЫХ ПАТТЕРНОВ НА ЭЛЕМЕНТАХ БЕРЕЗОВСКОГО	330



8.8	Близнюк С.В., Онофрійчук О.П. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДПРИЄМСТВА УКРАЇНИ В УМОВАХ КАРАНТИНУ	350
8.9	Ковальський В., Бондарь А., Лемешев М., Очеретный В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ, НАПОЛНИТЕЛЕЙ И МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕЙ В СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ ДЛЯ ПОРИЗОВАННЫХ РАСТВОРОВ	360
8.10	Олейник Т.П., Семенова С.В., Кириленко Г.А., Маковецкая Е.А., Казанцева А.И. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ В АРХИТЕКТУРЕ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА	367
8.11	Польовик В.В., Березова Г.О., Стукальська Н.М., Кирпіченкова О.М., Корецька І.Л. МОДЕЛЮВАННЯ ХАРЧОВИХ КОМПОЗИЦІЙ КУЛІНАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ	375
9.	MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING	
9.1	Chernets M., Chernets Y., Kornienko A. ANALYSIS OF CONTACT STRENGTH AND LINEAR WEAR OF STRAIGHT-TOOTHED METAL-POLYMER GEAR TRAIN	384
9.2	Oparin S. THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF ENERGY EFFICIENCY OF THE PLANT WASTE GRINDING PROCESS	391
9.3	Pelevin L., Gorbatyuk I., Terentyev O., Sviderskyi A. METHODOLOGICAL AND CRITERION BASES OF THE STUDY OF THE FUNCTIONING OF ENGINEERING COMPLEXES IN THE CREATION OF TARGET OBJECTS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY	396
9.4	Peretiaka N. AUTOMATION OF PROCESSING RESULTS OF DIAGNOSTIC SURVEYS AND TESTING OF BEARING KNOTS	402
9.5	Savchenko O. TECHNOLOGIES AND METHODS OF PRODUCT PROTECTION AGAINST COUNTERFEITING	407

9.6	Кириченко І.Г., Рєзніков О.О., Рукавишніков Ю.В., Щукін О.В., Орел О.В.  АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ОПОРНИХ ПРИСТРОЇВ МОБІЛЬНИХ ПІДЙОМНИКІВ З РОБОЧИМИ ПЛАТФОРМАМИ	412
9.7	Піцишин Б.С. <sup>1</sup> , Орел В.І. <sup>1</sup> , Попадюк І.Ю. <sup>1</sup>  ВПЛИВ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТУ ТА ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ДИТАЛАНУНА ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР ЦИЛІНДРИЧНОГО РОТОРА  <sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка"	417
10.	METALLURGY AND ENERGY	
10.1	Cheiliakh O., Cheylyakh Y., Kaiming W.  EFFECT OF CHROMIUM ON THE STRUCTURE, METASTABILITY OF AUSTENITE NEW NICKEL-FREE CORROSION-RESISTANT TWO-PHASE STEELS, SELF- INCREASING MECHANICAL PROPERTIES	423
10.2	Fialko N., Prokopov V., Sherenkovskii J., Aleshko S., Meranova N.  INFLUENCE OF THE PRIMARY AND SECONDARY AIR CONSUMPTION RATIO ON THE MICROJET BURNER DEVICES EFFICIENCY	430
10.3	Kovalenko T. <sup>1</sup> , Serdiuk V. <sup>1</sup> , Lys S. <sup>1</sup>  INVESTIGATION OF CORROSION DAMAGES OF HEAT- EXCHANGING TUBES A STEAM GENERATOR PGV-1000 NPP OF UKRAINE  <sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка"	435
10.4	Makarov V., Perov M., Kaplin M.  RECOMMENDATIONS FOR REFORMING THE COAL INDUSTRY OF UKRAINE	440
10.5	Rymar T. <sup>1</sup> , Zayats M. <sup>1</sup> , Kazmiruk M.  CHECK OF MAINTENANCE OF GUARANTEE INDICATORS OF РІП-54М2 OF A BOILER OF ТП-100  <sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка"	445

10.6	Sigarev E., Lobanov Y. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАСО- І ТЕПЛОПЕРЕНЕСЕННЯ ПРИ НАНЕСЕННІ ГАРНІСАЖНОГО ШЛАКУ НА ФУТЕРІВКУ КОНВЕРТЕРА	453
10.7	Бошкова І.Л., Волгушева Н.В., Тітлов О.С., Альтман Е.І., Мукмінов І.І. ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОГО НАГРІВУ НАФТОПРОДУКТІВ	458
10.8	Домнічев М.В., Нестеренко О.В., Близнюкова О.Ю. МУЛЬЧУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ПИЛОТВОРЕННЯ	470
10.9	Ніжник Н., Сігал О., Плашихін С., Сафьянц А. ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В ЯКОСТІ ПАЛИВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ	474
11.	TELECOMMUNICATIONS	
11.1	Куценко В., Телюков С., Литовченко Д., Рыбалко Д., Рязанцев С. МЕТОД СНИЖЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПОИСКА МАЛОВЫСОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАССИВНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	481
12.	TRANSPORT	
12.1	Chupaylenko A., Kozlov A., Polishchuk R. LOGISTICS OF INTERNATIONAL TRADE TRANSPORT BETWEEN UKRAINE AND CHINA	509
12.2	Chupaylenko A., Kozlov A., Bilokur M. INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE LOGISTICS OF INTERNATIONAL TRANSPORT	514
12.3	Kalinichenko Y., Stenhach O., Alexandrovskaya N., Volovyk K., Kourov M. ENERGY EFFICIENCY IMPROVING OF CARGO AND PASSENGER VESSELS	519

TECHNICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT

12.4	Sharai S., Hilevska K., Lebid V., Sokulsky O., Vasiltsova N. APPLICATION OF PRACTICAL ASPECTS OF INCOTERMS 2020 AND CUSTOMS LEGISLATION WHILE CARRYING OUT FOREIGN ECONOMIC ACTIVITY	525
12.5	Storozhuk S., Pronchenko A. THE ROLE OF WATER TRANSPORT IN THE DEVELOPMENT OF TOURISM IN THE NORTHERN BLACK SEA REGION OF UKRAINE	532
12.6	Yesaulov S., Babicheva O. RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THERMAL DIAGNOSTICS MEANS OF TRANSPORTATION EQUIPMENT	543
12.7	Симбирский Г. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМОПАР ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ	550
	REFERENCES	555

SECTION 1. CHEMICAL TECHNOLOGY

1.1 Modification of fire-retardant intumescent coatings

One of the main methods for increasing fire resistance of steel structures is the use of passive fire protection: materials and elements, that increase the time of maintaining load-bearing capacity of structure during fire [1]. Among the variety of fire-retardant materials, the most popular worldwide are reactive coatings (intumescent compositions that undergo thermal expansion) and heat-insulating materials (fire-retardant plasters, mineral and fiber boards) [2, 3].

The results of previous studies demonstrate that intumescent system (IFR) consisting of ammonium polyphosphate (APP) / melamine (MA) / pentaerythritol (PE) is non-alternative in the industrial production of fire-retardant paints [4, 5]. Moreover, fire-retardant paints of the most famous brands marketed in Ukraine have almost identical composition, as evidenced by IR spectroscopic studies we performed on films of more than 10 fire-retardant compositions of domestic and imported origin. A typical IR spectrum of an intumescent composition is shown in Fig. 1.

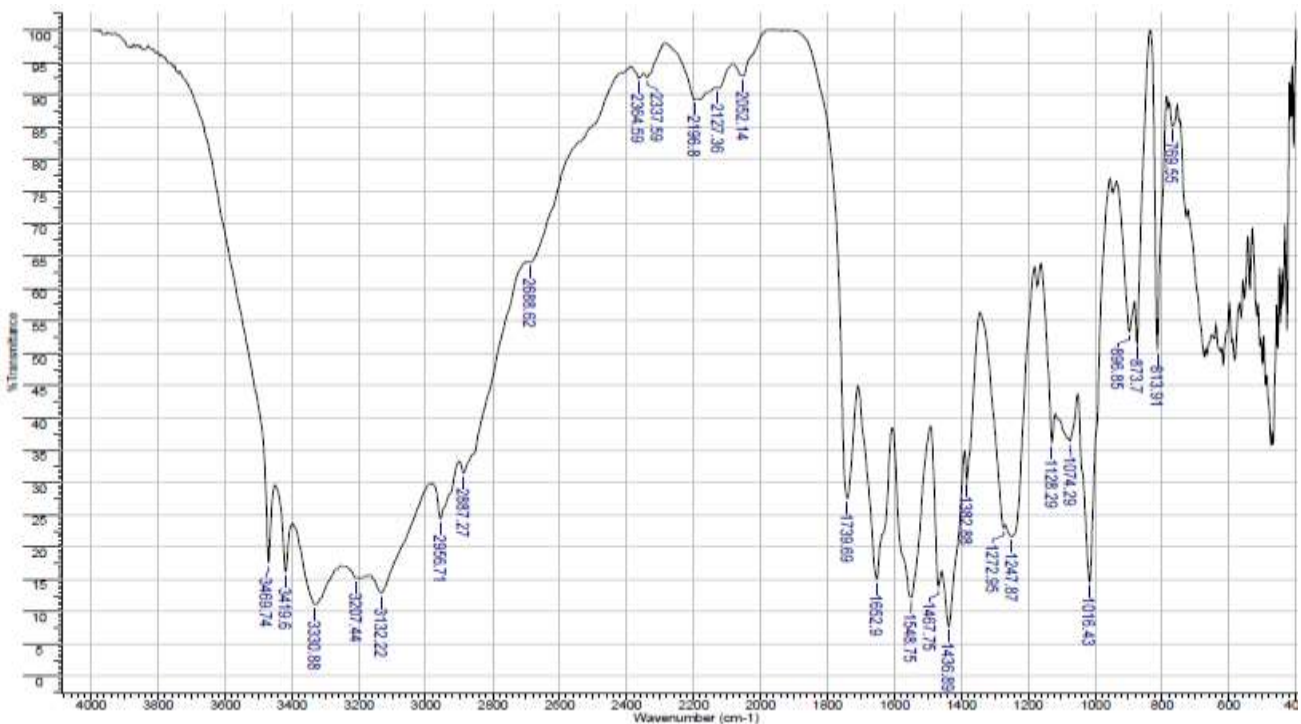


Figure 1. IR spectrum of Nullifire S 707-60 intumescent coating

Typically, IR spectra of fire-retardant coatings include the following absorption bands:  $3160\text{ cm}^{-1}$  indicates the existence of N–H functional group;  $3240\text{ cm}^{-1}$  related to O–H group; approximate to  $1730\text{ cm}^{-1}$  indicates C=O functional group;  $1673\text{ cm}^{-1}$  related to P–OH group;  $1438\text{ cm}^{-1}$  indicates the presence of C–H and N–H groups;  $1267\text{ cm}^{-1}$  corresponding to P=O;  $1076\text{ cm}^{-1}$  and  $1016\text{ cm}^{-1}$  indicate the presence of P–O–P group;  $897\text{ cm}^{-1}$  – absorption peak for N–H functional group. Therefore, the difference in fire-retardant efficiency of the presented materials (see Table 1) is most likely induced by the presence of special additives that are responsible for the construction of viable char layer.

Table 1.

Intumescent coating layer thickness (d, mm) required to provide fire-resistance rate (R, min) of steel structures

R, min	$A_m/V, \text{ m}^{-1}$	Nullifire S 707-60	Phenix STW	Polylack W
30	290	0,55	0,50	0,61
45	290	1,33	1,15	n/a <sup>*)</sup>
60	180	1,35	1,33	n/a
90	80	1,12	1,20	n/a
120	60	1,19	n/a	n/a

<sup>\*)</sup> Note. Does not provide such fire-resistance rate.

As follows from scientific literature review [5], nanostructured flame retardants – nano-oxides, nano-clays, boron nano-compounds, etc. increase fire resistance of polymeric IFRs. The results, obtained in studies of the effect of nano-additives on the efficiency of intumescent fire protection, allow us to identify common features of action of nano-particles at high temperatures: strengthening the protective char layer by structuring polymer matrix with MeO particles or B and Si atoms; increasing thermal stability of the polymer in fire-retardant coating; catalysis of chemical processes responsible for char formation [5–7].

Considering financial aspects of using nano-materials in industrial productions of intumescent materials, nanoclays can be determined the most suitable nano-additives.

Nanoclays, mainly bentonite clays, are natural layered silicates. The most studied and promising of them are montmorillonite (MMT) and its close analogues (smectite, attapulgite), which are widely used in nanotechnology and synthesis of nanocomposites. However, previous studies [8] suggest that the use of nanocompounds in IFR is a promising but insufficient step towards improving intumescent coatings performance. This is especially true for coatings designed for fire protection of critical facilities.

The objective of current study is to examine the effect of reinforcing fibers on the fire-retardant efficiency of IFR system consisting of APP/MA/PE/ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA). Three types of fibers were tested as reinforcing additives – mineral (MF), glass (GF) and basalt fiber (BF). Hereinafter, the nature of the components, other than the main components of IFR, will only be disclosed at a level sufficient to understand the essence of the scientific idea of research.

In order to determine the physicochemical characteristics of the char layer IK1–IK6 compositions were prepared (see table 2). Liquid compositions were poured into cells  $3 \times 3 \times 1$  cm in size, made of aluminum foil, then dried to constant weight. Finished samples with a dry film thickness of about 1 mm were kept in muffle furnace for 10 min exposed to temperature in range of 200-700 °C. Expansion ratio K and mass loss were determined for each sample. Visualizatio of this experiment is demonstrated in Fig. 2, while Fig. 3 and 4 show the obtained experimental data.



Figure 2. Samples of IK 6 intumescent coating after thermal treatment in muffle furnace

Table 2.

Ratio of the components in intumescent compositions (parts by weight)

IK	APP	PE	MA	EVA	TiO <sub>2</sub>	MMT	MF	GF	BF
1	3	1	1	2	0,5	0,3	0,2	–	–
2	3	1	1	2	0,5	0,3	–	0,2	–
3	3	1	1	2	0,5	0,3	–	–	0,2
4	3	1	1	2	0,5	0,3	0,4	–	–
5	3	1	1	2	0,5	0,3	0,6	–	–
6	3	1	1	2	0,5	0,3	0,1	–	0,1

Based on TGA results, as well as visual observations of the strength of the char layers, we selected IK6 as the most promising of the mentioned intumescent coating samples.

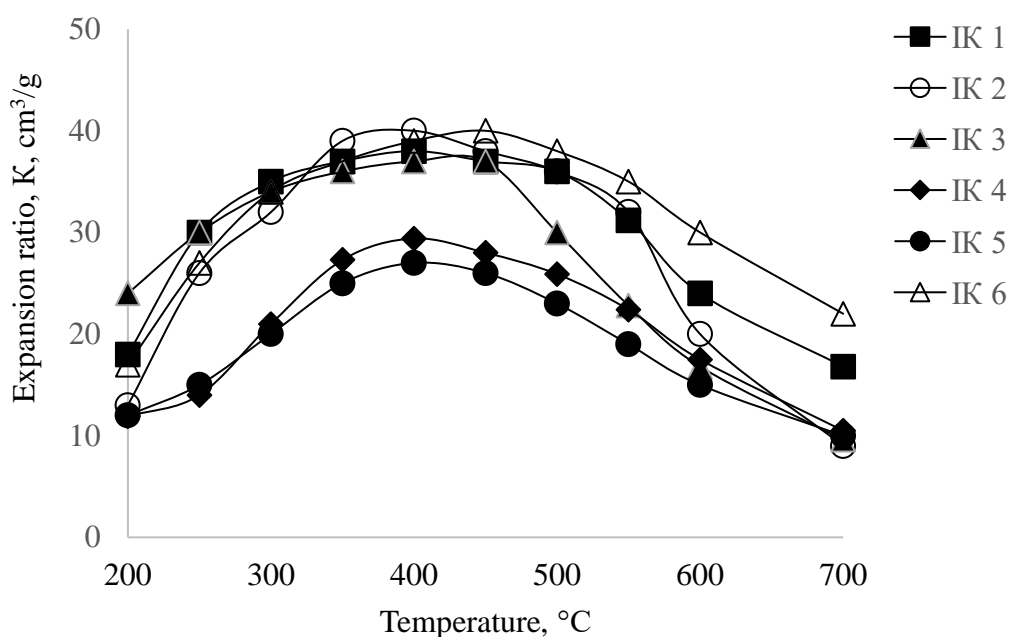


Figure 3. Dependence of expansion ratio  $K$  ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) for intumescent compositions IK1–IK6 on temperature  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ )



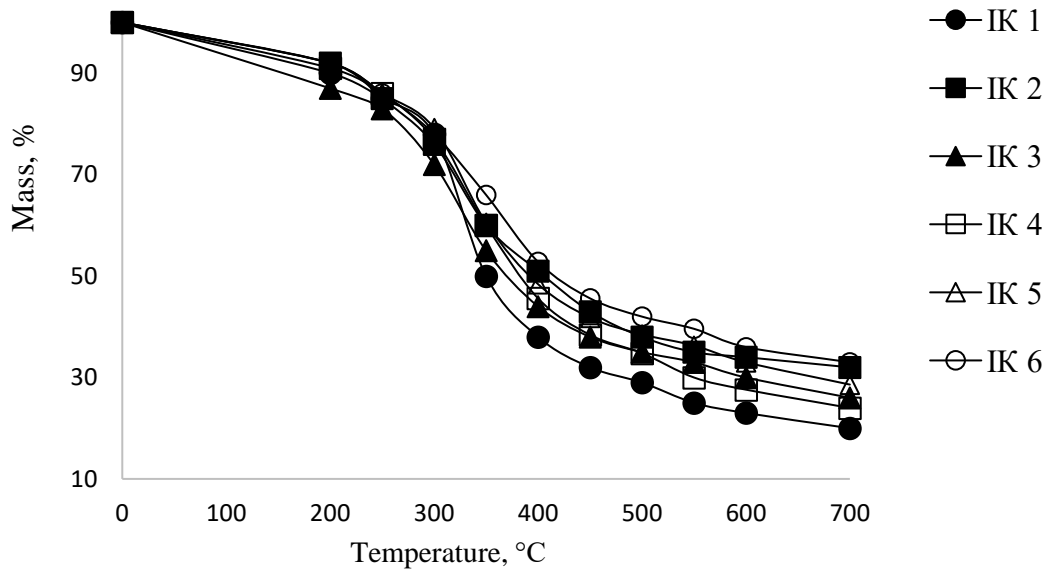


Figure 4. Dependence of mass loss (m, %) for IK1 – IK6 intumescent compositions on temperature T (°C)

In order to compare fire resistance rate of IK 6 intumescent coating with that of a similar coating Nullifire S 707-60, tests were performed using mini-furnace. Both coatings were applied to steel plates which were exposed to a heat load, determined by the standard fire curve. The test results are shown in Fig. 5

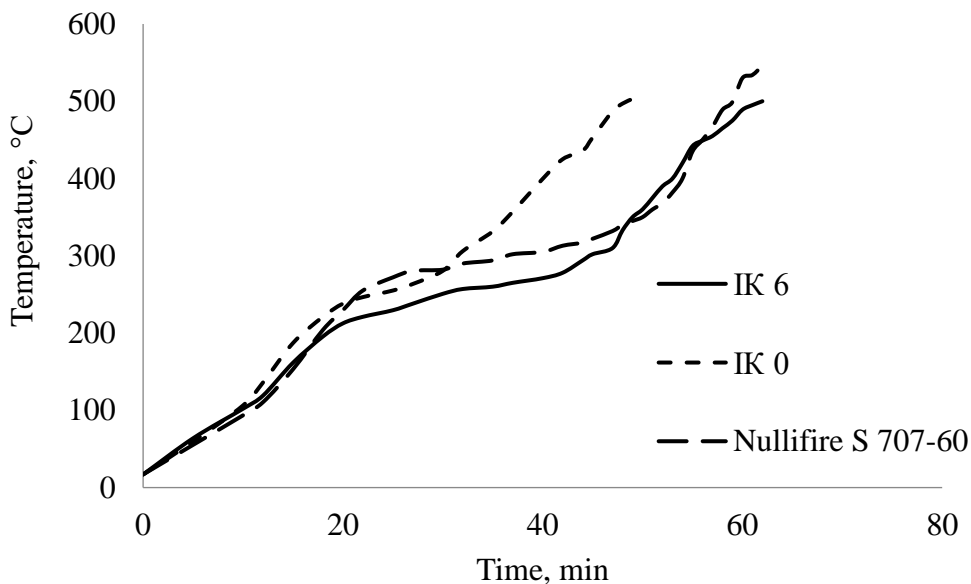


Figure 5. Dependence of the temperature (T, °C) of steel plate with intumescent coating (d = 1,8 mm) on the time of fire exposure.

Data obtained in current studies allow us to state that the addition of mineral and basalt fibers mixture to the IFR system allows to obtain a coating with flame retardant efficiency (61 min), equal to that of the imported analogue – Nullifire S 707 60 (60 min), and exceeding that of the IK0 coating (49 min) which does not contain any reinforcing additives.

## 1.2 The influence of rolling on characteristics of electrochemical capacitors

The volume efficiency (specific energy capacity) of the electrochemical capacitor (EC) depends on the specific mass of the active material on the surface of the conductor. In the process of the solvent evaporation the composite material is rolled on the surface of the current collector, but the particles of solid ingredient interfere with obtaining the active mass of the required density.

Should be considered that the method of electrodes manufacturing involves the rolling of the dried composite material [9-10] using rollers at elevated temperature (100 °C) (Fig. 1). Increasing the temperature reduces the internal stress that occurs when the solvent evaporates, and thus increases the adhesion properties of the polymer (Table 1). It was concluded that the rolling of the electrode composition improves the adhesive properties by 8-12%.

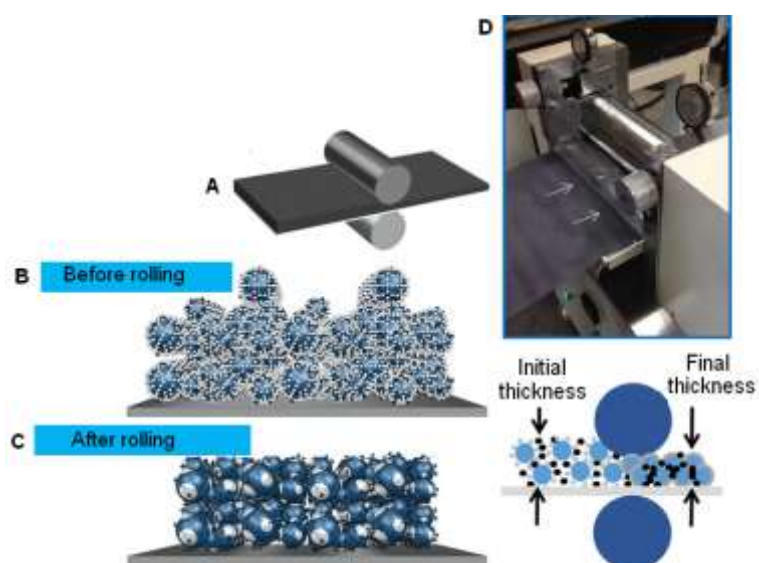


Figure.1. Electrode rolling scheme and the device itself: A) rolls for rolling B) electrode before rolling, C) electrode after rolling, D) device

Table 1

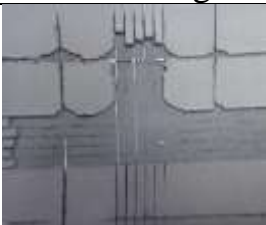


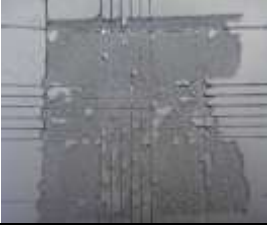
Density and pullout force of the electrodes active layer before and after their rolling  
(composition of composite material: graphite -89-91%, conductive additive agent  
Pure Black -3%, binder *Solef* 5130- 6-8 %)

№	PVDF, %	Before rolling		After rolling	
		$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	P, H/m <sup>2</sup>	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	P, H/m <sup>2</sup>
1	8	873	2484	995	2822
2	6	977	2185	1147	2372

An electrode heating during the active material rolling reduces the internal resistance of the electrode and thus improves the electrical conductivity of the entire system [11]. As can be seen from Table 2, the appearance of the surface of the electrodes without rolling and with rolling at a temperature of 100°C differs significantly after cutting the electrodes.

Table 2

Image of the surface of the electrodes after applying the method with cutting into segments. An electrode composition: activated carbon YP-5F – 89%, conductive additive agent C65 – 5%, binder *Solef* 6020 – 6%

Rolling	After cutting	After the tape tearing off
Without rolling		
With rolling at the temperature (100 °C)		

The active mass of the electrode without rolling already after cutting peels off easily and disappears, but this result is no longer observed after the application of rolling. The second stage of this experiment after separation of the adhesive tape is characterized by better adhesion of the sample with rolling in comparison with the sample without the use of rolling.

There is a direct relationship between the rolling force and the internal resistance - the greater the rolling is - the lower is the resistance [12-14]. But there are reasonable limits of rolling, after which further compaction is inappropriate [15-19]. After a series of experiments, it was determined that the optimal rolling is 20-30% of the electrode mass [20-21].

During further compaction of the active layer of electrodes there is a shear stress (Fig. 2), which can adversely affect the structure of the composite and even deform the metal conductor (Fig. 3).

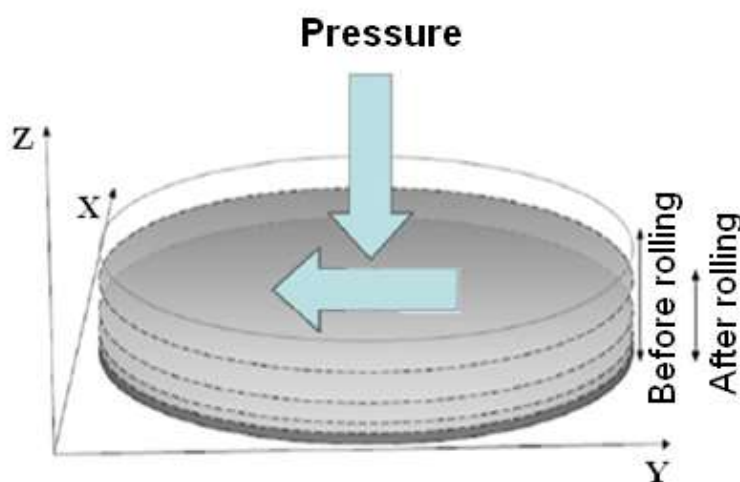


Figure 2. Schematic representation of the applied load during rolling

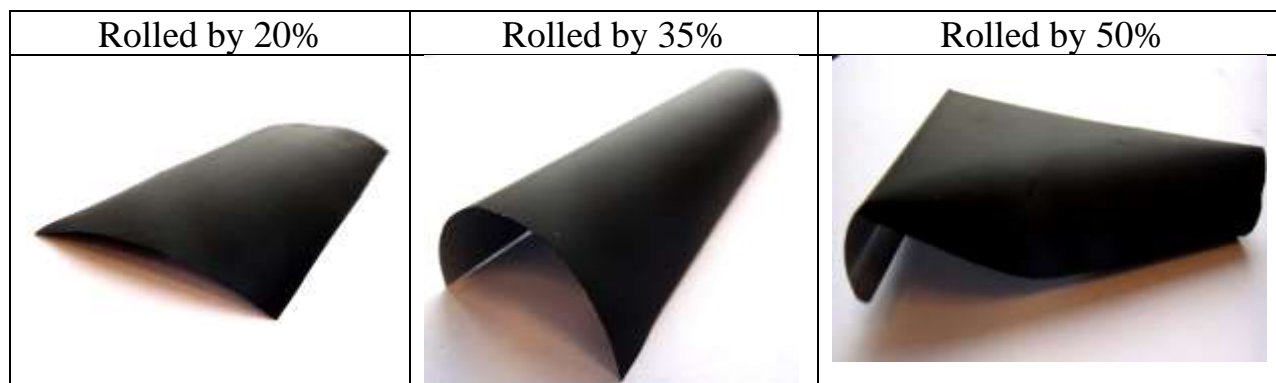


Figure 3. Image of electrode deformation after rolling. Electrode composition: activated carbon (YP-50F)-88%, conductive additive agent C65-5%, polymer binder Solef 6020-7%

Under the action of pressure, the layers of polymeric binder between the particles of active material decrease and the area of contacts between them increases, which, of course, helps to reduce the electrical resistance of the electrodes [22-23].

Table 3 shows the values of the internal resistance of the EC, collected with the electrodes before and after rolling.

Table 3

Change of internal resistance of the EC depending on rolling modes

Type of PVDF	Content of PVDF, %	Electrode treatment	$R_{ESR}, \Omega M$	$R_{EDR}, \Omega M$
Solef 6020	8	Without rolling	0,28	4,85
		Rolling without heating (20-25 °C)	0,28	1,72
		Rolling with heating (100 °C)	0,27	0,59

\*EC is collected on the bases of activated carbon Norit Supra 50 and electrolyte -1,5 M TEABF<sub>4</sub> in acetonitrile, electrode area is 2 cm<sup>2</sup>

Compaction of all components of the electrode mass occurs by rolling. This in its turn promotes better contact of the active material and conductive additive agents. The influence of roller temperature is also investigated in the work. It is established that the heating of the electrodes during rolling reduces the tension of the material itself and contributes to a more uniform and compact arrangement of the components of the electrode mass.

### **1.3 Synthesis, structure and properties of metal-carbon nanocomposites based on synthetic humic substances**

Nanosized metal powders are being intensively investigated, new methods of synthesis are being developed, and the areas of their application are expanding [24, 25]. In particular, nanosized powders of transition metals (Cu, Ni, Co, Pd) are used to create electrically conductive polymer materials, paints, coatings and inks and catalysts in various chemical processes [24]. The biocidal properties of copper nanopowders are used in medicine to create bactericidal materials [26]. The ferromagnetic properties of nickel and cobalt have found application in microwave screening materials [24]. However, the high reactivity of nanopowders affects the stability of the characteristics of materials. The most heat-resistant protection of the surface of metal nanoparticles from oxidation is considered the creation of carbon shells on metal particles. The effectiveness of such protection is determined by the methods of treatment, the reagents used and the conditions of the process [27].

Metal/carbon nanocomposites are nanostructures containing metal clusters stabilized in carbon structures. The carbon phase can be in the form of film structures, fibers, or amorphous carbon. The metal particles are associated with the carbon phase. The metal nanoparticles in the composite are generally close to spherical or cylindrical. Due to the stabilization and association of metal nanoparticles with the carbon phase, chemically active metal particles are stable in air and upon heating, since a strong complex of metal nanoparticles with a matrix of carbon material is formed.

Among the methods for obtaining metal nanoparticles, an important role belongs to solid-phase pyrolysis (thermal decomposition) of organometallic precursors. This method is of interest given the possibility of obtaining nanoparticles that do not contain sorbed organic molecules on their surface.

Salts of organic acids, salts of polyacrylic acid, compositions based on polyvinyl alcohol, metal phthalocyanines, and the like are widely used as organometallic precursors. However, when using the listed materials in the process of pyrolysis, various nanocrystalline carbon formations are formed, for example, fragments of a

hexagonal grid of graphite planes. In some cases, the growth of carbon nanotubes is observed. To obtain a truly amorphous carbon matrix, the use of the listed precursors is problematic, since ordered structures of carbon atoms are already initially present in each of them.

In our works, synthetic humic substances were used for the first time in the synthesis of metal nanocomposites [28, 29]. The use of natural and synthetic humic substances as a carbon source in the synthesis of metal-carbon nanocomposites is not described in the literature. However, synthetic humic substances are characterized by a disorder of structure, which is expressed in the absence of peaks in the diffraction patterns, and we can assume that under certain conditions of the process, the carbon matrix after pyrolysis will retain the amorphous structure of the precursor. The presence in the structure of synthetic humic substances of carboxyl groups, quinoid fragments and phenolic hydroxy groups explains their ability to form salt and complex with polyvalent cations of transition metals. In our opinion, the study of the processes of formation of metal-carbon nanocomposites, in which the matrix is represented by carbon with a high degree of disorder, is of considerable scientific interest.

The term "amorphous carbon" means several substances that are quite different in structure and properties: gas soot, lamp soot, coke, charcoal and sugar, etc. At the same time, such products always contain organic (sugar coal) and inorganic (coke) impurities, which are often quite difficult to get rid of. Thus, sugar coal is heated at 1000 °C in a stream of dry chlorine for several hours, and then in a stream of hydrogen until the cessation of HCl.

In contrast to traditional precursors, synthetic humic substances are carbonized during pyrolysis without melting the sample, with the formation of a minimum amount of by-products, and during the pyrolysis of synthetic humic substances in a hydrogen atmosphere can be expected to obtain amorphous carbon of high purity.

Being typical organic acids, humic and fulvic acids form insoluble salts with transition metals, and this feature allows to prepare a metal-containing precursor of stable composition.



General scheme for the synthesis of metal-carbon nanocomposites including neutralization of synthetic humic substances with an alkali solution to  $\text{pH} = 11$ . To the resulting solution was added a solution of nitrate, chloride or sulfate of the desired metal. The precipitate that formed was left to stand for 3-4 hours, filtered under vacuum through a paper filter and washed on the filter by distilled water. Sludge washing is an important operation, the quality of which determines the quality of the final product. It is very important that a layer of mother liquor or water remains above the sediment until the wash is complete. The pyrolysis of dried metal humate was carried out in a hydrogen atmosphere in a device, which is shown in Fig. 1.

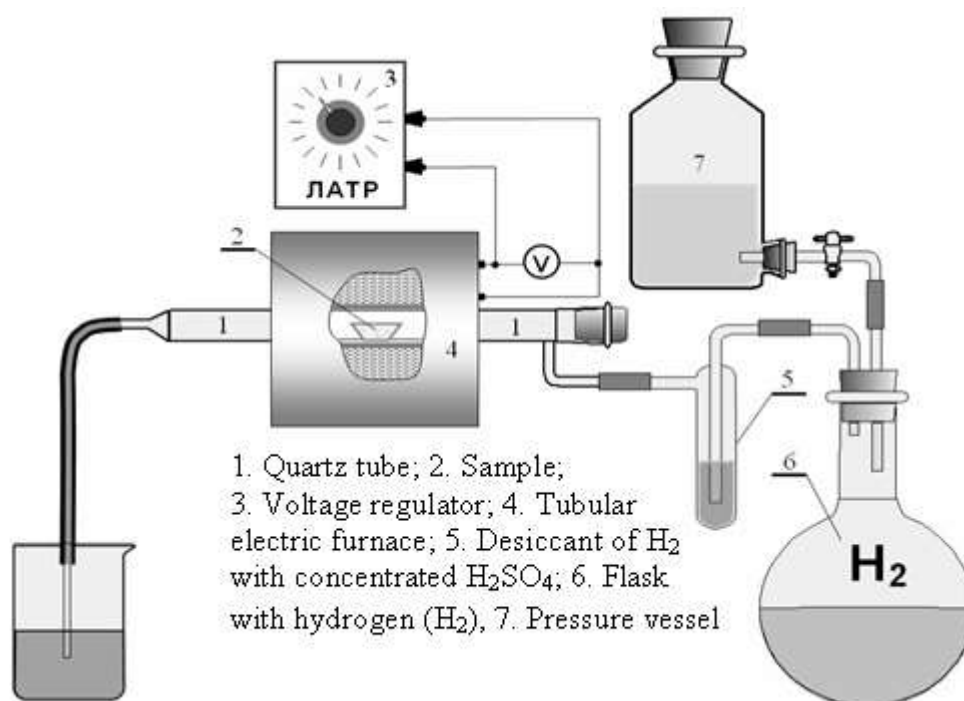


Fig. 1. Scheme of equipment for pyrolysis of metal humate under hydrogen atmosphere

Carrying out the pyrolysis of metal humates in a reducing atmosphere of  $\text{H}_2$  makes it possible to almost completely remove from the final product the oxygen present in synthetic humic substances, partly in the form of  $\text{CO}_2$ , partly in the composition of water. Transition metal ions under these conditions are reduced to metal atoms, which form nanoparticles surrounded by a spatial network of linear and cyclic carbon blocks chaotically connected into a rigid structure.

The formation of crystalline phases of the corresponding metals was confirmed by X-ray diffraction. Typical diffraction patterns of metal-carbon nanocomposites obtained using synthetic humic substances are shown in Fig. 2. The characteristic peaks in the diffraction patterns correspond to the face-centered cubic structure of the corresponding metals. Even after one year of storage, the diffraction patterns of the obtained solid powders of nanoparticles did not show the appearance of additional peaks that could appear as a result of partial oxidation of nanoparticles. These data indicate a significant protective effectiveness of the carbon shell from environmental factors.

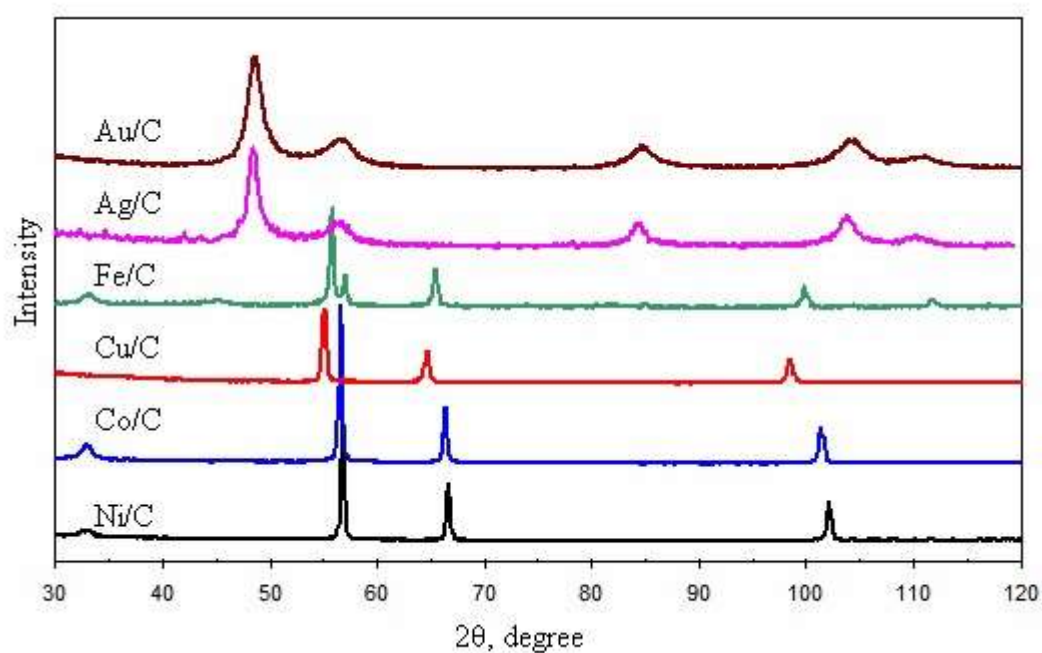


Fig. 2. Diffractograms of metal-carbon nanocomposites

The size of nanoparticles in composites synthesized at different pyrolysis temperatures was estimated by broadening the lines in X-ray diffraction patterns using the Scherrer formula. The main characteristics of the synthesized metal-carbon nanocomposites are presented in Table 1.

Table 1.

**Characteristics of metal-carbon nanocomposites**

<b>Type of nanocomposite</b>	<b>Au/C</b>	<b>Ag/C</b>	<b>Fe/C</b>	<b>Cu/C</b>	<b>Co/C</b>	<b>Ni/C</b>
Size, nm	20	8	47	60	32	51
Composition: metal (%) : carbon (%)	48/52	54/46	70/30	50/50	44/56	60/40
Specific surface, m <sup>2</sup> /g	321	385	202	158	266	186
Density, g/cm <sup>3</sup>	3.81	3.24	2.20	1.71	1.62	2.19
SBET, m <sup>2</sup> /g	296	318	86	282	137	94

Based on the analysis of IR spectra, it can be concluded that in the process of pyrolysis, the organic part of metal humates is in a high degree of carbonization, as a result of which the formation of a carbonaceous substrate of nanocomposites occurs.

## **1.4 Improvement of the system of environmental monitoring of surface water condition**

Anthropogenic human activities cause enormous damage to the natural environment, which leads to a deterioration of the ecological situation as a whole. The most unfavorable situation at present is with water cover, therefore, the priority direction of research is water resources of Ukraine, the irrational use of which leads to a shortage of both drinking water and for household needs.

The condition for establishing environmental resonance is the organization of environmental monitoring of wastewater, which is to regulate environmental legislation to optimize their use, the organization of control systems at facilities (territories), based on the principles of objectivity and efficiency and the creation of new research methods [ 30-32].

Another significant factor influencing the state of natural waters and the ecosystem as a whole is military activity [33-35]. The activities of such facilities are accompanied by high man-made loads, which affect changes in aquifers, as well as the accumulation of various types of pollutants that affect the state of the oceans, which in turn leads to pollution on a planetary scale.

For an objective assessment of water quality it is necessary to establish a comprehensive assessment of the water body, which includes a number of characteristics of the water system, the list of which differs for drinking water, its sanitary and hygienic assessment and economic and hygienic purposes according to regulations [36,37].

According to the EU Water Framework Directive [32], the existing MPC system does not provide an objective assessment of water quality, as it does not take into account geographical zoning, which includes geochemical territorial background, determined by the content of chemical elements in geological rocks and soils, and does not reflect general toxicological load. In particular, this system does not specify a list of pollutants that may be caused by military or other activities.

Given the above, we propose a comprehensive system of surface water research to improve the method of hydro chemical monitoring, namely an integrated method of assessing water quality based on the definition of "Water Pollution Index" (WPI).

(WPI) is an integral characteristic of water pollution that can be used to determine the category of water quality by basic pollutants based on the MPC norms of the current standard of hydro physical and hydro chemical indicators of water quality, taking into account the number of specific pollutants arising in the process of all human activities. processes of domestic, industrial and agriculture) and all forms of man-caused load of troops. The value of the indicator is calculated by formula 1.

$$WPI = (\sum_i^6 C_i / MPC_i) / 6, \quad (1)$$

where C is the average value of the concentration of the i-th indicator for the year (measured at least five times);

MPC<sub>i</sub> - the maximum allowable concentration of the pollutant;

6 - the number of typical indicators of pollutants of a particular type of activity.

The identified indicators are differentiated into 7 categories that differ in size (table 1).

**Table 1.**

**Categories of quality and characteristics of natural water in terms of the index of water pollution (WPI)**

Quality categories	The value of WPI
I- very pure	≤0,2
II- pure	>0,2-1
III- moderately polluted	1-2
IV- contaminated	2-4
IV- dirty	4-6
VI- very dirty	6-10
VII - extremely polluted	>10

In particular, a review of the literature and our research allows us to propose another operational method of hydro chemical monitoring based on electrochemical measurements [37].

This method is based on measuring the Red-Ox potential (Eh) of the medium using a compensation scheme of the potential difference of the electrochemical cell. This informative parameter will allow to establish the background values of hydro chemical parameters of water for comparison with the measured ones, in which the existence of chemical elements with variable valence in a certain form is possible, as well as to identify conditions under which the metal can migrate. The mechanism of redox reactions is reduced to the transition of electrons from the reducing agent to the oxidant, which in turn leads to a change in the valence of existing chemical elements that form a set of systems in the studied medium. When such systems come into contact with their own potential value, a secondary redox reaction occurs, which leads to the establishment of the total value of the redox potential, the value of which reflects the equilibrium redox state of all systems in the aquatic environment. The process of electronic regrouping continues until dynamic equilibrium is established.

The value of Eh <0 mV indicates the presence of hydrogen sulfide and metals of low valence (Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>), and Eh > + (100, 150) mV, the presence of free oxygen, and metals in the highest form of its valence, which indicates the passage of certain physicochemical and biochemical processes that meet the conditions of self-regulation and the creation of the necessary conditions to maintain hemostasis in natural waters and affect the processes of transformation of various forms of nutrients.

This value indicates the activity of chemical elements and their compounds and is determined by formula 2.

$$Eh = E^0 + \left(\frac{0,581}{n}\right) \lg\left(\frac{Ox}{Red}\right); \quad (2)$$

The value of Eh in natural waters determines the totality of all oxidative and reducing processes and depending on the gas composition of water (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) and can be connected in the range from -400 to +700 mV. The indicator Eh reflects the quality

of the aquatic environment as a source of natural drinking water, the value of which can be divided into categories of water quality (table 2).

**Table 2.**

**Criterion of water quality by indicators Eh.**

<b>Water quality category</b>	<b>Eh</b>
<b>Higher</b>	-100mB – -200mB
<b>I -category</b>	(-100) – 0
<b>II -category</b>	0 – (+30)
<b>III -category</b>	(+30) – (+60)

The index of redox potential (IP Red-Ox) of the highest quality of drinking water with a value of -100mV - -200mV, meets the sanitary and hygienic standards of the current MPC standard and according to the characteristics of natural water in terms of WIP corresponds to I and II quality categories (very clean and pure).

This water corresponds to the internal environment of the human body, promotes longevity, improves health, strengthens the body's defenses, and has a positive effect on physiological processes and functions of vital human organs. Such water promotes longevity, improves health, strengthens the defenses, which has a positive effect on physiological processes and functions of vital human organs.

Pure water in the natural environment has certain hydrobiological properties that change during treatment and transportation. The change in Eh is due to the charge of ions present in the water, and the restoration of its concentrations of oxidizing and reducing form provide the activity of substances in solution and the stability of complex compounds in biochemical water purification.

Thus, new indicators (Eh), their values and measuring instruments (ph-meter) have been established. Criteria for assessing surface water quality according to these indicators and an integrated characteristic of water pollution that can be used to determine the category of water quality by the main pollutants of anthropogenic impact, taking into account all impact factors.

## 1.5 Новые биоразлагаемые поверхностно-активные вещества: свойства и перспективы использования

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию физико-химических и функциональных свойств новых поверхностно-активных веществ (ПАВ), полученных из биологического экологически чистого сырья, с целью расширения области их применения. Разработанные материалы легко разрушаются под действием внешних факторов окружающей среды. Приведен обзор научной литературы по свойствам, характеризующим синтезированные ПАВ, и методам их исследования. Экспериментальная часть работы включает описание методов и объектов исследования. Представлены результаты изучения свойств двух ПАВ, а также рекомендации по их использованию. ПАВ-1 представляет собой водный раствор белкового гидролизата. ПАВ-2 - смесь натриевых солей органических сульфокислот. Исследования поведения новых веществ на границе раздела вода-воздух показали, что они относятся к классу сильных анионоактивных мицеллообразующих ПАВ, снижающих поверхностное натяжение воды более чем в 3 раза. Определена критическая концентрация мицеллообразования для обоих ПАВ. ПАВ-1 хорошо растворим в воде, с органическими растворителями образует расслаивающиеся смеси. Указанное свойство может сыграть положительную роль при его использовании в качестве компонента моющих средств (создание эмульсионных композиций, утилизация отработанных моющих растворов). Способность ПАВ-2 к образованию стабильных гелей может быть использована при разработке популярных в настоящее время гелеобразных моющих средств. Установлено, что оба ПАВ обладают коррозионной активностью и при их использовании на металлических поверхностях необходимо предусмотреть введение ингибиторов коррозии. Определение моющей способности ПАВ показало возможность их использования в качестве компонентов технических моющих средств. ПАВ-1 обладает лучшей моющей способностью в отношении технологических загрязнений (машинное масло, консервационная смазка), чем ПАВ-2. Способность ПАВ-1 к образованию стабильных пен успешно используется в



настоящее время при получении пенобетонов. Пены на основе ПАВ-2 обладают еще большей устойчивостью, поэтому он тоже может быть рекомендован в качестве пенообразователя. Повышенное пенообразование может отрицательно сказаться при использовании ПАВ в моющих средствах для механизированных способов очистки. В этом случае необходимо предусмотреть введение пеногасителей. Сравнительная экологическая безопасность ПАВ позволяет рекомендовать их к использованию в бытовых и косметических средствах, но для этого требуется устранение некоторых отрицательных свойств, например, специфический запах ПАВ-1.

**Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества; поверхностное натяжение, пеноконцентрат; пенообразование; краевой угол смачивания; коррозионная активность; биологическая активность.

## ВВЕДЕНИЕ

К поверхностно-активным веществам (ПАВ) относят соединения, способные накапливаться на поверхности раздела фаз, образуя слой повышенной концентрации – адсорбционный мономолекулярный слой. Типичные ПАВ – органические соединения дифильного строения, т.е. содержащие в молекуле атомные группы, значительно различающиеся по интенсивности взаимодействия с окружающей средой (в наиболее практически важном случае – водой).

По характеру диссоциации ПАВ делятся на:

- *анионные*, функциональные группы которых в результате ионизации в растворе образуют отрицательно заряженные органические ионы, обуславливающие поверхностную активность;
- *катионные*, функциональные группы которых в результате ионизации в растворе образуют положительно заряженные органические ионы, обуславливающие поверхностную активность;
- *неионогенные*, практически не образующие в водном растворе ионов;

- *амфолитные*, образующие в водном растворе в зависимости от условий (рН, растворитель и т. д.) отрицательно или положительно заряженные органические ионы;
- *высокомолекулярные*, состоящие из большого числа повторяющихся органических звеньев, каждое из которых имеет полярные и неполярные группы.

Класс ПАВ определяется полярной группой. Следует учитывать, что многие ПАВ полифункциональны, т. е. имеют несколько различных функциональных групп и могут быть отнесены к нескольким классам [38, 39].

По коллоидно-структурному признаку ПАВ делят на соединения, образующие истинные растворы и поэтому не обладающие моющим действием, и моющие вещества, образующие мицелярные, или гелеобразные структуры. Моющим веществом, или детергентом, может быть ПАВ любого класса.

По механизму действия на поверхностные свойства ПАВ делят на четыре группы:

- соединения активны на границе жидкость-газ (вода-воздух), но не образуют коллоидных частиц;
- диспергаторы - проявляют активность на границе двух несмешивающихся жидкостей, но не образуют коллоидных частиц;
- стабилизаторы - образуют гелеобразную структуру в адсорбционном слое и растворе; предотвращают коагуляцию частиц, стабилизируют дисперсную фазу в дисперсионной среде;
- моющие средства - обладают всем комплексом свойств, характерных для трех предшествующих групп [40]. Способны к самопроизвольному образованию в объеме жидкой фазы термодинамически стабильных коллоидных частиц (мицелл) и к включению отмываемых частиц в ядро мицелл (солюбилизация) [41].

Основными характеристиками, определяющими масштабы производства тех или иных ПАВ помимо их физико-химических свойств, являются их стоимость, наличие источников сырья и экологическая безвредность,

характеризуемая *биоразлагаемостью* – временем снижения концентрации ПАВ в определенное число раз. Проблема синтеза биоразлагаемых ПАВ приобрела в настоящее время особенную актуальность. В частности, такая ситуация связана с тем, что ПАВ концентрируются на поверхности водоемов и изменяют условия обитания различных организмов, нарушая процессы кислородного обмена. Значительную экологическую опасность представляет образование устойчивой пены при адсорбции ПАВ на поверхности воды, в очистительных системах водоподготовки и т. д.

Среди главных потребителей ПАВ важная роль принадлежит следующим отраслям промышленности: горнодобывающей, перерабатывающей промышленности (при добыче нефти, флотационном обогащении и др.); металлообрабатывающей промышленности и транспорту (смазки и смазочно-охлаждающие жидкости); текстильной промышленности (так называемые текстильные вспомогательные вещества); строительной индустрии (высокоэффективные добавки в цементы при производстве бетона, асфальтобетона и пр.); промышленности полимерных материалов и лакокрасочных покрытий (добавки-пластификаторы, активаторы наполнителей); а также пищевой, медицинской, парфюмерной промышленности, полиграфии, пожаротушении (получение устойчивых пен с высокой кратностью) и др.

Одним из основных направлений является использование ПАВ в бытовых и технических синтетических моющих средствах. Моющее действие ПАВ обусловлено комплексом коллоидно-химических процессов и поверхностных явлений, включающим смачивание, диспергирование загрязнений, стабилизацию образовавшейся дисперсии, мицеллообразование ПАВ в объеме моющей жидкости, солубилизацию загрязнений, пенообразование, фазовые превращения и др. Высокое моющее действие может быть обусловлено свойствами очищаемой поверхности, составом моющей жидкости и природой загрязнений. Так, избирательное смачивание становится определяющим явлением при стирке тканей, поскольку в противном случае капиллярные силы

могут препятствовать пропитке ткани моющей жидкостью. Мицеллообразование является определяющим процессом при использовании микроэмульсии для отмычки, например, металлических поверхностей. Два основных фактора способствуют полному отделению загрязнений от очищаемой поверхности. К ним относятся низкие значения межфазного натяжения на границе с маслом, а также из-за высокая сольубилизации каплевыми частицами микроэмульсий. Для моющего действия шампуней для мытья волос наиболее важный процесс – пенообразование, т. к. шампуни должны обладать слабым обезжиривающим действием.

В современных условиях оптимальным решением проблемы повышения экологичности жилья и теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий, снижения стоимости их возведения может стать использование для их производства теплоизоляционного пенобетона. Пенобетоны обладают целым рядом преимуществ перед другими строительными материалами, в частности, из всех типов стен пенобетонные являются самыми энергосберегающими. [42]. Важнейшим составляющим пенобетонных блоков является пенообразователь. Выбор пенообразователя обуславливает как технологию производства пенобетона, так и технические и эксплуатационные характеристики получаемой продукции. Пенообразователи являются ПАВ и должны удовлетворять следующим требованиям [43]:

- технико-экономические: расход пенообразователя в денежном выражении не должен превышать 2\$ на 1 кубический метр производимого пенобетона;
- постоянство свойств, независимо от партии;
- срок хранения не меньше 1 года;
- расход пенообразователя не должен превышать 1,5 литров на 1 м<sup>3</sup> производимого пенобетона. При большом количестве пенообразователя может увеличиваться время затвердевания пенобетона и усадка, понижаться его прочность;
- простота приготовления: однокомпонентные пенообразователи имеют преимущества при использовании в строительных условиях. Во избежание

засорения трубопроводов и накопления осадка в рабочих емкостях пенообразователь должен быть хорошо растворим в воде;

- высокая кратность и стойкость пены: кратность пенообразователя, должна быть не менее 10. Такое значение кратности пены необходимо для уменьшения отрицательного действия пенообразователей на гидратацию цементного вяжущего;
- соответствие санитарно-гигиеническим нормам: пенообразователи должны быть нетоксичны, невзрывоопасны и, согласно классификации по ГОСТ 12.1.007-76, относиться к 3, 4 классу малоопасных веществ, и отвечать санитарно- и радиационно-гигиеническим требованиям;
- достаточная стойкость пены в растворе: чем выше коэффициент стойкости пены, тем меньший объем пены необходим для получения пенобетона требуемой плотности и меньше расход пенообразователя;
- стойкость смеси во времени

Существующие пенообразователи можно разделить на два вида – синтетические и белковые. [44]. По большинству важных характеристик белковые пенообразователи превосходят синтетические:

- практически не увеличивают срок схватывания и твердения пенобетонной массы;
- мало влияют на прочность пенобетона;
- очень высокая стойкость пенобетонной массы;
- слабая устойчивость к различным ускорителям;
- возможно получать пенобетоны плотностью от 300.

Исходя из вышесказанного, поиск новых белковых пенообразователей является актуальной задачей.

Важной задачей настоящей работы явилось расширение номенклатуры биоразлагаемых ПАВ, в частности изучение свойств нового ПАВ, разработанного для производства пенобетона. Для сравнения в аналогичных

условиях исследованы свойства известного ПАВ, представляющего собой смесь натриевых солей алкилсульфокислот.

## **1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПАВ**

До сих пор не существует унифицированных методов оценки эффективности даже какого-то одного действия ПАВ, например, эмульгирования или пенообразования. Наиболее полную характеристику химического соединения, обладающего поверхностно-активными свойствами, дают уравнения связывающие его свойства со структурой и количеством, а также параметрами системы. Существует значительный разрыв между эмпирическими характеристиками ПАВ и показателями физико-химических свойств систем.

Оценка эффективности ПАВ проходит в три этапа:

1. Непосредственная оценка действия (например, моющей способности – по отмыванию загрязнений, флотационной активности – по эффективности флотации и т. д.).
2. С использованием критериев, предложенных на основании интуиции исследователя или качественных представлений (например, система гидрофильно-липофильного баланса).
3. С использованием постоянных или параметров фундаментальных уравнений (например, оценка поверхностной активности по уравнению Гиббса).

Общим свойством ПАВ, определяющим область применения, является величина гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ). Эффективность ПАВ в качестве эмульгатора, пенообразователя, моющего реагента и в качестве других агентов зависит от соотношения полярных и неполярных групп в молекуле. Это соотношение определяет величину ГЛБ. Величина ГЛБ может изменяться от 0 до 40. ПАВ с выраженными липофильными свойствами (растворимые в органических растворителях) имеют низкие значения ГЛБ, а гидрофильные

вещества – высокие. В таблице 1 приведены интервалы значений ГЛБ и соответствующие им свойства ПАВ.

Таблица 1.

Классификация ПАВ по величине ГЛБ

ГЛБ	Свойства ПАВ	
1 – 3	Пенегасители	
3,5 – 6	Эмульгаторы второго рода	Получение обратных эмульсий
7 – 9	Смачиватели	Усилители растекания
8 – 18	Эмульгаторы первого рода	Получение прямых эмульсий
13 – 15	Моющие агенты	Детергенты
15 – 18	Солубилизаторы	Растворители, гидротропы

В настоящее время существует ряд инструментальных методов оценки ГЛБ: по коэффициентам растекания и распределения, с помощью газожидкостной и бумажной хроматографии и некоторые другие. Все они трудоемки и недостаточно надежны. Попытку создать теорию ГЛБ предпринял Дэвис, который каждой функциональной группе, входящей в молекулу ПАВ, приписал групповое число. Значение ГЛБ для различных ПАВ вычисляют по формуле:

$$\text{ГЛБ} = \sum_i n_i^{hphil} \Delta_i^{hphil} + \sum_i n_i^{hphob} \Delta_i^{hphob} + 7 \quad (1)$$

где  $n_i^{hphil}$  и  $n_i^{hphob}$  – число одинаковых гидрофильных или гидрофобных групп;  $\Delta_i^{hphil}$  и  $\Delta_i^{hphob}$  – групповое гидрофильное или гидрофобное число.

Система ГЛБ дает общие представления о свойствах соединения и качественно объясняет поведение ПАВ, однако она не позволяет осуществить количественных расчетов [38].

Для ПАВ наиболее значимыми являются поверхностные свойства. *Поверхностное натяжение* – важнейшая термодинамическая характеристика поверхности раздела фаз (тел), определяемая как работа обратимого изотермического образования единицы площади этой поверхности. Для жидкостей поверхностное натяжение правомерно рассматривать как силу, действующую на единицу длины контура поверхности и стремящуюся сократить поверхность до минимума при заданных объемах фаз [45]. Зависимость

поверхностного натяжения растворов от активности выражает уравнение Гиббса. Для разбавленных растворов оно имеет вид:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dc} = -\frac{1}{RT} \frac{d\sigma}{d \lg c} \quad (2)$$

Величина  $-\frac{d\sigma}{dc}$  определяет меру снижения поверхностного натяжения в зависимости от концентрации или активности раствора. Ее называют *поверхностной активностью*. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации раствора ПАВ при постоянной температуре описывает изотерма поверхностного натяжения  $\sigma = f(c)$ . Изменение поверхностного натяжения в растворах имеет огромное практическое значение. Оно влияет на размер капель, вытекающих из отверстия, на размеры пузырьков барботирующего газа, на изменение смачивающего действия жидкостей, на способность к пенообразованию. Вследствие этого применение ПАВ для изменения поверхностных свойств растворов весьма широко распространено [40]. Определение поверхностного натяжения проводят различными методами. Важнейшие из них – сталагмометрический (метод взвешивания капель), максимального давления газового пузырька, висячей капли, отрыва кольца, серьги, пластинки (дю Нуи).

Водные растворы многих ПАВ обладают особыми свойствами, отличающими их как от истинных растворов низкомолекулярных веществ, так и от коллоидных систем. Одной из отличительных особенностей растворов ПАВ является возможность существования их как в виде молекулярно-истинных растворов, так и в виде мицеллярных - коллоидных. *Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ)* — это концентрация ПАВ, при достижении которой концентрация ПАВ на границе раздела фаз остается постоянной при дальнейшем росте концентрации, и происходит самоорганизация молекул ПАВ в объёмном растворе (мицеллообразование или агрегация) [38]. В результате такой агрегации образуются так называемые мицеллы. Отличительным признаком мицеллообразования служит помутнение раствора ПАВ. Как правило, переход из молекулярного состояния в мицеллярное происходит в достаточно узком



интервале концентраций ниже и выше среднего значения ККМ. При концентрациях ниже минимальной граничной концентрации раствора ПАВ аналогичны истинным растворам низкомолекулярных веществ.

*Поверхностное давление* (плоское, двумерное) – сила, действующая на единицу длины границы (барьера), разделяющей чистую поверхность жидкости и поверхность той же жидкости, покрытую адсорбционным слоем ПАВ. Поверхностное давление имеет молекулярно-кинетическую природу; оно направлено в сторону чистой поверхности и определяется разностью поверхностных натяжений чистой жидкости и жидкости с адсорбционным мономолекулярным слоем [45].

*Смачивание* – явление, возникающее при соприкосновении жидкости с поверхностью твердого тела или другой жидкости. Оно выражается, в частности, в растекании жидкости по твердой поверхности, находящейся в контакте с газом (паром) или другой жидкостью, пропитывании пористых тел и порошков, искривлении поверхности жидкости у поверхности твердого тела. Мерой смачивания обычно служит краевой угол  $\theta$  между смачиваемой поверхностью и поверхностью жидкости на периметре смачивания (рисунок 1).

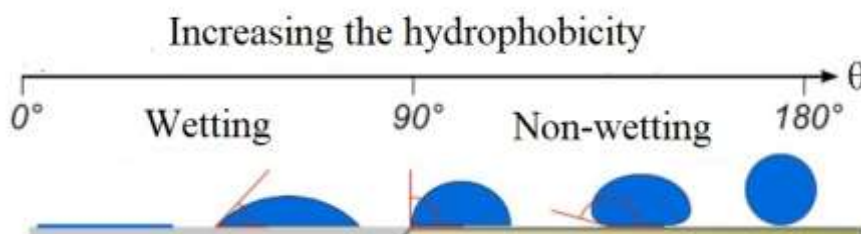


Рис. 1. Краевые углы смачивания для материалов с различной гидрофобностью

Угол  $\theta$  при статическом (равновесном) смачивании связан с поверхностным натяжением жидкости ( $\sigma_l$ ), поверхностным натяжением твердого тела ( $\sigma_s$ ) и межфазным натяжением на границе твердое тело – жидкость ( $\sigma_{sl}$ ) уравнением Юнга:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_s - \sigma_{sl}}{\sigma_l} \quad (3)$$

Величиной угла  $\theta$  оценивают лиофильность и лиофобность поверхностей по отношению к различным жидкостям. На лиофильной поверхности жидкость растекается, т. е. имеет место частичное ( $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ) или полное смачивание ( $\theta \rightarrow 0^\circ$ ); на лиофобной – растекания не происходит ( $\theta > 90^\circ$ ) (рис. 1). При этом краевой угол смачивания зависит от двух факторов. Первый фактор — это адгезия - соотношения сил сцепления молекул жидкости с молекулами или атомами смачиваемого тела. Вторым фактором является когезия — сила сцепления молекул жидкости между собой. Обратимую работу адгезии и когезии вычисляют по уравнениям:

$$W_a = \sigma_l (1 + \cos \theta) \quad (4)$$

$$W_c = 2 \cdot \sigma_l \quad (5)$$

При  $W_a < W_c$  всегда  $\theta > 0^\circ$ , причем с увеличением отношения  $W_a > W_c$  улучшается смачивание. Разность  $S = W_a - W_c$  называется коэффициентом растекания. ПАВ могут как улучшать, так и ухудшать смачивание.

Смачивание имеет важное значение в природе, промышленной технологии, быту. Хорошее смачивание необходимо при крашении и стирке, обработке фотографических материалов, нанесении лакокрасочных покрытий, пропитке волокнистых материалов, склеивании, пайке, амальгамировании и т. д. Снизить смачивание до минимума стремятся при получении гидрофобных покрытий, гидроизоляционных материалов и др. В некоторых случаях, например при флотации и эмульгировании твердыми эмульгаторами, требуется сохранение краевых углов смачивания в определенном интервале значений [45].

*Пенообразующая способность.* Наличие ПАВ в растворах способствует образованию пен. Пенами называют дисперсные системы, в которых дисперсная фаза – газ распределена в жидкой дисперсионной среде, находящейся в виде тонких слоев [40].

Пену как дисперсную систему можно охарактеризовать следующими показателями:

- вспениваемость – количество пены, выражаемое объемом пены (в мл) или высотой ее столба (в мм), которое образуется из постоянного объема

раствора при соблюдении определенных условий в течение данного времени;

- кратность – отношение объема пены к объему раствора, пошедшего на ее образование;
- стабильность (устойчивость) – время существования элемента пены (отдельного пузырька, пленки) или определенного ее объема;
- дисперсность – средний размер пузырька, распределение пузырьков по размерам или величина поверхности раздела раствор – газ в единице объема пены.

Статические определения пенообразующей способности основаны на интенсивном смешивании раствора, содержащего пенообразователь, с воздухом и на последующем измерении характеристик образовавшейся пены. Статический объем пены зависит исключительно от скорости разрушения пузырьков.

Пену для статических измерений готовят следующими способами:

- *встряхивание* – интенсивное перемешивание раствора и находящегося над ним воздуха;
- *взбивание* – многократные удары по поверхности раствора пластиной с отверстиями, прикрепленной к штоку;
- *продувание воздуха* – диспергирование воздуха, проходящего с постоянной скоростью через жидкость;
- *выливание* – выливание раствора на поверхность того же раствора через калиброванное отверстие с определенной высоты;
- *перемешивание* раствора и воздуха в миксере.

Динамические методы предусматривают непрерывное механическое воздействие на раствор, исключая его истечение из пены. Сущность динамического метода получения пены, в отличие от статического, заключается в механическом поддержании постоянного соотношения между скоростью образования и разрушения пены. Для этих измерений пену получают

продуванием воздуха с определенной скоростью через пористую мембрану и находящийся над ней раствор перемешивают [46].

*Эмульгирующая способность ПАВ* – способность диспергировать нерастворимую жидкость и обеспечивать агрегативную устойчивость образовавшейся эмульсии, характеризуется следующими показателями:

- тип эмульсии (масло/вода или вода/масло);
- устойчивость эмульсии по отношению к седиментации – всплыванию или оседанию капелек дисперсной фазы с образованием слоя концентрированных эмульсий («сливок»); коагуляции или флокуляции – образованию агрегатов частиц дисперсной фазы в объеме дисперсионной среды; коалесценции – слиянию мелких капелек в крупные с конечным выделением вещества дисперсной фазы в гомогенный слой за счет естественного, механического и термического деэмульгирования;
- дисперсность; параметр, который задается средним размером частиц в системе, распределением их по размерам или величиной поверхности раздела жидкость - жидкость в единице объема эмульсии.

Эмульсию приготавливают встряхиванием системы вода-масло в измерительном цилиндре; взбиванием проволочной спиралью, мешалкой или ультразвуковыми диспергаторами.

В приготовленной эмульсии определяют:

- тип (масло/вода или вода/масло) с помощью красителей, разбавления, по электропроводности, вязкости и т.п.;
- дисперсный состав – визуально, микроскопическим методом, анализаторами частиц (типа счетчика Коултера), методами лазерной автокорреляционной спектроскопии;
- суммарную поверхность границы раздела фаз, диспергированной данным количеством ПАВ – по дисперсному составу с учетом концентрации частиц или с помощью приборов, принцип действия которых состоит в погашении ультразвуковых волн;

- устойчивость – время расслоения при комнатной температуре (если эмульсия устойчива в течение нескольких суток) и с использованием гравитационного или термического разрушения эмульсии (если она обладает значительной стабильностью) [38].

*Смачивающая способность.* Все известные методы определения смачивающей способности растворов ПАВ можно разделить на три основные группы: определение краевого угла смачивания, продолжительности смачивания и теплоты смачивания. Методы определения продолжительности смачивания являются весьма специфическими и используются в основном для определения характеристики смачивающей способности по отношению к волокнистым и пористым материалам. Теплоту смачивания обычно определяют по отношению к порошкообразным и сыпучим материалам, когда время установления равновесия адсорбции не превышает нескольких минут. Преимущество данного метода оценки смачивающей способности – возможность прямого определения изменения энтальпии процесса смачивания [46].

*Солюбилизирующая способность* характеризуется количеством углеводорода, маслорастворимого вещества (или воды, водного раствора), которое солюбилизируется водным (неводным) раствором, содержащим определенное количество ПАВ. Различают косвенные и прямые методы определения солюбилизирующей способности. Косвенные методы основаны на определении количества маслорастворимого (водорастворимого) красителя, солюбилизированного водным (неводным) раствором ПАВ.

К прямым методам относятся:

- рефрактометрический, основанный на том, что показатель преломления испытуемого раствора ПАВ непрерывно возрастает вплоть до насыщения раствора солюбилизируемым агентом;
- кондуктометрический, основанный на предположении, что солюбилизированные вещества снижают эквивалентную электропроводность растворов ПАВ вследствие увеличения объема находящихся в нем мицелл за счет солюбилизированных молекул;

- спектрофотометрический;
- с помощью радиоактивных индикаторов [47].

*Диспергирующая способность* ПАВ характеризует его действие при стабилизации дисперсной фазы твердое – жидкость. Ее определяют по отношению к измельченным частицам сажи, красителей, окислов металлов, глины, мрамора и т. п., используют седиментационные методы анализа. Определяя диспергирующую способность по отношению к кальциевым мылам, можно оценить эффективность ПАВ в жесткой и морской воде, а также при отмывании нерастворимых в воде осадков кальциевых или магниевых мыл жирных кислот [38].

*Моющая способность.* Определение моющей способности ПАВ основано на отмывании искусственно загрязненных образцов и количественной оценке удаленных загрязнений или «белизны» отмытой поверхности. Методы различаются по конструкции применяемых приборов, технике измерений, способам и степени механического воздействия на поверхность, типом поверхности, природой искусственных загрязнений и способам нанесения их на поверхность, способам анализа чистоты отмытой поверхности [38].

Очистка металлических поверхностей от различных загрязнений является обязательной технологической операцией во многих отраслях промышленности, где предъявляются высокие требования к чистоте поверхности металлов, а также к качеству защитных покрытий, зависящему от чистоты поверхности металлов. В зависимости от количества остаточных загрязнений различают три уровня очистки: макроочистка, микроочистка и активационная очистка (травление металлов до активного состояния), и применяют различные методы контроля остаточной загрязненности поверхности. При макроочистке чаще всего используют гравиметрический метод, протирание, люминесцентный, при микро- и активационной очистке – люминесцентный и смачивание водой [48]. Контроль степени очистки поверхности изделий взвешиванием – лабораторный метод. Его чувствительность определяется точностью взвешивания. Моющая способность определяется по разнице массы загрязненного образца до и после очистки [49].

*Коррозионная активность.* Под коррозионной стойкостью понимают способность материалов оказывать сопротивление разрушению под действием окружающей среды, в которой они эксплуатируются [50, 51]. Наиболее важной характеристикой коррозионного процесса является его скорость  $K$  ( $г/м^2 \cdot ч$ ) [52, 53], которую чаще оценивают гравиметрическим методом по убыли массы образца  $\Delta m$  (г) с единицы поверхности  $S$  ( $м^2$ ) за определенное время  $\tau$  (ч):

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} \quad (6)$$

*Биоразлагаемость* – это степень биологического разложения ПАВ. Она показывает способность молекул ПАВ подвергаться деструкции под воздействием микрофлоры, присутствующей в активном или биологических очистных сооружениях, в водоемах и почве. Различают первичную и полную биоразлагаемость. Первичная биоразлагаемость представляет собой стадию процесса биологического разложения, приводящая к гидролизу гидрофильной части молекулы, что проявляется в снижении (или прекращении) пенообразования. Полная биоразлагаемость определяется конечной стадией процесса ассимиляции органических веществ микроорганизмами с использованием ПАВ в качестве источника их роста и жизнедеятельности. При этом происходит выделение в окружающую среду продуктов их метаболизма, и воды.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследования выбраны ПАВ, полученные из отходов птицеводческого производства и процессов рафинирования подсолнечного масла.

1. ПАВ-1 представляет собой водный раствор продуктов гидролиза белков (таблице 2).

Свойства ПАВ-1 (ТУ 2481-003-35785061-03)

Наименование показателя	Показатель
Внешний вид	Жидкость коричневого цвета.
Наличие осадка, %, не более	2,0
Запах	Специфический
Кратность пены, не менее	6
Устойчивость пены, мин., не менее	50
Водородный показатель (рН) концентрата	7,5 – 8,0
Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	1,10 – 1,20

ПАВ-1 является экологически безопасным пенообразователем для производства пенобетона различных марок, предназначен для получения воздушно-механической пены с помощью специального оборудования [54,55]. ПАВ и его растворы не токсичны, не обладают кумулятивным действием, безвредны, взрыво- и пожаробезопасны (Санитарно-гигиенический сертификат № 59.55.03.000.П.002926.09.03 от 22.09.03.). По своему строению полученный нами ПАВ относится к группе высокомолекулярных ПАВ. Поскольку он является продуктом гидролиза белковых веществ, то его структура тоже состоит из большого числа повторяющихся органических звеньев, каждое из которых имеет полярные и неполярные группы.

2. ПАВ-2 представляет собой смесь натриевых солей органических сульфокислот:

- основная фракция C<sub>17</sub>-олеиновая, ленолевая, линолиновая кислоты;
- кислотное число - 170,5;
- влажность - 5%;
- температура застывания - 19°C.

## 2.2. Методики получения ПАВ

Для получения ПАВ-1 в качестве кератинового сырья использованы куриные перья, представляющие собой отход птицеводческого производства [54,



55]. 300 г куриных перьев и 150 г гидроксида натрия в 1 л воды (15% раствор) нагревают в открытой емкости в общей сложности 10-11 часов. Полное растворение пера наблюдается через 1,5 часа, после достижения температуры 80°C. Первые два часа происходит значительный выброс аммиака. Реакция среды сильнощелочная. После 7 часов нагревания, полученное вещество оставляют на 12 часов (за это время гидролизат затвердевает до консистенции мыла). Далее добавляют 250 мл воды и продолжают нагревание. По истечении срока варки, смесь охлаждают и нейтрализуют 500 мл разбавленной серной кислоты. Чтобы избежать осаждения, прибавляют 500 мл воды. В результате получается 1850 мл гидролизата с плотностью 1,1 – 1,2 г/см<sup>3</sup>.

Методика сульфирования жирных кислот подсолнечного масла использована для получения ПАВ-2 (ООО «Биохим», г. Ростов). К 100 г образца масла приливают концентрированную серную кислоту при интенсивном перемешивании. После добавления кислоты реакционная смесь приобретает красно-коричневую окраску и самопроизвольно разогревается до 50-60°C. При перемешивании, реакционную смесь выдерживают 0,5 часа (температура снижается до комнатной). Затем медленно добавляют при перемешивании 20% водный раствор гидроксида натрия до слабощелочной реакции среды, в результате чего получается вязкая масса светло-желтого цвета, загустевающая при охлаждении. Ее сушат при температуре 110-120°C и получают порошок желтого цвета.

### 2.3. Методы исследования ПАВ

Все физико-химические и функциональные свойства ПАВ определены при комнатной температуре 22±2°C.

### 2.3.1. Поверхностное натяжение

Величину поверхностного натяжения растворов ПАВ определяют с использованием сталагмометрического метода [40]. Сталагмометрический метод, или метод счета капель. Образование капель происходит под действием гидростатического столба раствора. Этот метод дает достаточно точные результаты для равновесного поверхностного натяжения, а при измерении динамического коэффициента вследствие изменения напора во времени обычно измеряют натяжение при средних значениях напора. Поверхностное натяжение рассчитывают по формуле:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_0 \cdot m_x \cdot n_0}{m_0 \cdot n_x} \quad (8),$$

где  $\sigma_x$  и  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение раствора ПАВ и воды,  $m_x$  и  $m_0$  – массы капель раствора ПАВ и воды,  $n_x$  и  $n_0$  – число капель раствора ПАВ и воды в заданном объеме. Величина поверхностного натяжения на границе вода – воздух при комнатной температуре взята из справочника [56].

### 2.2.2. Плотность

Для определения плотности растворов ПАВ использован пикнометрический метод [57, 58]. Плотность растворов рассчитана по формуле:

$$\rho = \frac{m_3 - m_1}{v} \quad (10),$$

где  $m_3$  – масса пикнометра с раствором ПАВ, г;  $m_1$  – масса пустого пикнометра, г;  $v$  – объем раствора ПАВ, равный водному числу пикнометра, мл.

### 2.2.3. Водородный показатель pH

Водородный показатель (pH) измерен с помощью иономера HI 5222 и в соответствии с методикой, описанной в [59]. Иономер HI 5222 — это профессиональный настольный прибор с цветным графическим ЖК-дисплеем

для измерения рН (с калибровочной проверкой), окислительно-восстановительного потенциала, с возможностью использование ионоселективных электродов и измерения температуры. Для калибровки использовались коммерчески доступные сертифицированные стандартные образцы буферных растворов сравнения.

#### 2.2.4. Краевой угол смачивания

Измерение краевого угла смачивания ( $\theta$ ) проведено «методом пузырьков» [40]. Согласно этому методу, испытуемый образец твердого тела (стеклянная пластинка) помещается в жидкость, смачиваемость которой измеряют. Под поверхность образца подводят пузырек воздуха и измеряют краевой угол, образуемый этим пузырьком, жидкостью и твердым телом. Полученные результаты изображают в виде зависимости  $\theta = f(c)$ .

#### 2.2.5. Устойчивость пен

За характеристику устойчивости пены принято время, в течение которого образованная пена полностью разрушится [40]. Нами была установлено, что устойчивости пены зависит от концентрации ПАВ в растворе и от времени подготовки пены.

Пену получали методом встряхивания. В цилиндр на 50 см<sup>3</sup> с притертой пробкой наливают 10 см<sup>3</sup> водного раствора ПАВ заданной концентрации. Цилиндр встряхивают 30 секунд, отмечают объем пены и включают секундомер. Фиксируют изменение объема пены во времени. Измерения прекращают после полного разрушения всей образовавшейся пены. Повторным встряхиванием снова получают пену и измерения повторяют.

### 2.2.6. Коррозионная активность

Коррозионная активность измерена методом погружения [52]. Пластины из стали марки 20 размером 45×45×0,5 мм зачищают наждачной бумагой, обезжиривают ацетоном, взвешивают на аналитических весах с точностью ±0.0002 г. Опыт проводят в стеклянном стакане объемом 100 мл. Пластины укрепляют в стеклянных держателях в стаканах, наливают раствор ПАВ, чтобы образцы были полностью погружены в жидкость и оставляют на три месяца. Объем раствора отмеряют мерным цилиндром. По окончании опыта пластины извлекают из раствора, измеряют масштабной линейкой размеры их рабочей (соприкасавшейся с раствором) поверхности, удаляют продукты коррозии, промывают дистиллированной водой, тщательно просушивают фильтровальной бумагой и взвешивают на аналитических весах. Скорость коррозии рассчитана по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} \quad (11)$$

где  $K$  – скорость коррозии, г/м<sup>2</sup>·ч;  $\Delta m$  – убыль массы образца, г;  $S$  – площадь рабочей поверхности, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время проведения эксперимента, ч.

### 2.2.7. Моющая способность

Для определения моющей способности ПАВ был использован метод гравиметрии. Сущность данного метода заключается в определении массы загрязненного образца до и после очистки.

Условия эксперимента:

- пластинки – сталь марки 20, размер 45×45×0.5 мм;
  - объем моющего раствора 40 мл; время промывания –3 мин.
- Перемешивание раствора с погруженными в него пластинками осуществлялось на встряхивателе TF-III (Чехия);

- загрязнители – машинное масло И-30А, эмульсия смазочно-охлаждающей жидкости «Укринол», смазка ЦИАТИМ –221.

Ход определения:

1. На подготовленную пластинку наносят каплю загрязнителя. Каплю размазывают кисточкой по кругу и дают высохнуть сформированному пятну. Эту процедуру повторяют несколько раз. Полученный образец высушивают в течение суток. Подготовленные пластинки взвешивают на аналитических весах с точностью  $\pm 0,0002$  г.
2. Баночки с моющим раствором с погруженными в них пластинками встряхивают 3 минуты, достают пластинки и ставят на ребро для стекания остатков моющего раствора.
3. Высушенную пластинку взвешивают на следующий день.

Моющую способность рассчитывают по формуле:

$$WA = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \cdot 100\% \quad (11)$$

где  $P_1$ - масса чистой пластины, г;  $P_2$  – масса пластины с загрязнителем, г;  $P_3$  – масса пластины после промывки, г.

При использовании вязких растворов есть вероятность получения недостоверных результатов. При использовании таких растворов, в процессе мытья на пластинках происходит адсорбция ПАВ, что приводит к увеличению их массы. В ряде случаев появляется необходимость в последующем промывании пластинок дистиллированной водой. Подготовленные пластинки споласкивают дистиллированной водой, сушат в вертикальном положении в течение суток, после чего взвешивают. Результаты моющей способности усредняют для каждой концентрации ПАВ.

### 2.2.8. Биоразлагаемость

Определения биоразлагаемости (степени биологического разложения) поверхностно-активных веществ в водной среде осуществлялось в соответствии с методикой описанной в [60]. Сущность метода заключается в определении временных зависимостей изменения концентрации ПАВ в результате взаимодействия с активным. Определяли первичную биоразлагаемость, приводящую к гидролизу гидрофильной части молекулы, что проявляется в снижении способности к пенообразованию.

## 3. ОБСУЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Величина поверхностного натяжения водных растворов ПАВ, является важной характеристикой, определяющей возможности использования соответствующих соединений в качестве ПАВ. Другой задачей явилось изменение поверхностного натяжения на границе раздела водный раствор ПАВ – воздух в зависимости от концентрации их растворов. На рисунке 2 приведены изотермы поверхностного натяжения. Начальный прямолинейный участок изотермы соответствует понижению поверхностного натяжения в результате адсорбции молекул ПАВ на границе раздела фаз. Криволинейный участок изотермы соответствует снижению адсорбции, когда значительная часть поверхности воды уже занята молекулами ПАВ. При дальнейшем повышении концентрация ПАВ поверхностное натяжение практически не меняется, т. к. на поверхности раствора образуется сплошной мономолекулярный слой ПАВ, и дальнейшая адсорбция становится невозможной. На изотермах поверхностного натяжения (рис. 2) имеются две характерные точки перегиба: концентрация раствора при достижении предельной адсорбции и точка соответствующая ККМ. Значения ККМ: для ПАВ-1 - 12 мас. % (в пересчете на 100 % вещество), для ПАВ-2 – 0,2 мас. %.

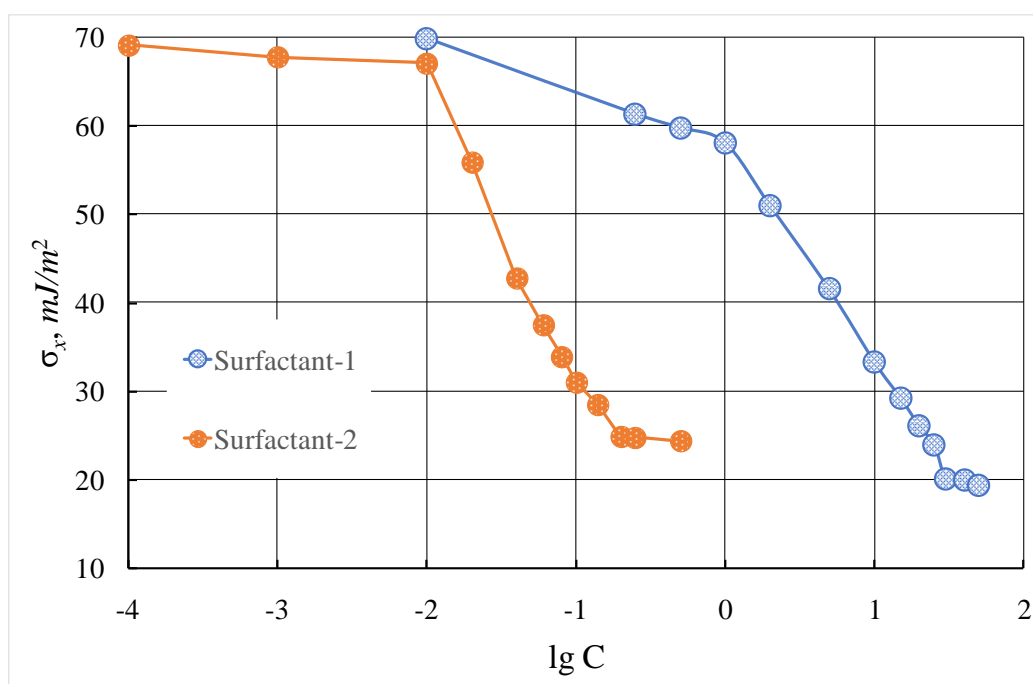


Рисунок 2. Изотермы поверхностного натяжения

Установлено, что исследованные соединения относятся к сильным ПАВ. Поверхностное натяжение 2 мас. % (в пересчете на 100% вещество) раствора ПАВ-1 составляет 41,54 мДж/м<sup>2</sup>, а 20 мас.% – 19,35 мДж/м<sup>2</sup>. Присутствие ПАВ-2 в водном растворе приводит практически к аналогичному результату при значительно меньших концентрациях: 0,05 мас.% раствор – 41,64 мДж/м<sup>2</sup> и 0,5 мас.% – 24,35 мДж/м<sup>2</sup>. Поверхностное натяжение воды в условиях эксперимента 72,40 мДж/м<sup>2</sup>.

Определения смачивающей способности ПАВ осуществляли путем измерения краевых углов смачивания поверхности стекла растворами ПАВ с различной концентрацией (рисунок 3). Полученные кривые имеют схожий вид и соответствуют характеру изотерм поверхностного натяжения данных веществ (рис. 2). В области малых концентраций ПАВ величина краевого угла смачивания резко уменьшается, затем кривая становится более полой и при дальнейшем повышении концентрации ПАВ значения краевого угла смачивания практически постоянны.

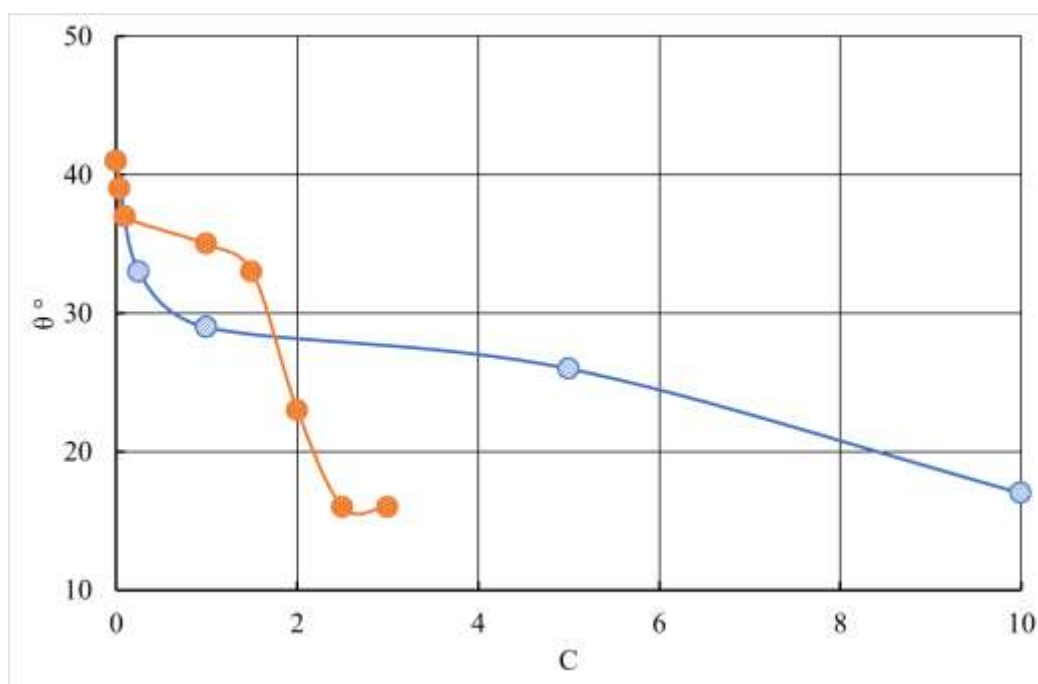


Рисунок 3. Зависимость краевого угла смачивания от концентрации ПАВ в растворе

В соответствии с уравнением Юнга [39], уменьшение поверхностного натяжения воды при адсорбции ПАВ приводит к росту величины  $\cos(\theta)$  (уменьшению величины  $\theta$ ). Таким образом улучшается смачивание такой гидрофильной поверхности, как например стекло. Вид полученных кривых свидетельствует о том, что ПАВ относятся к умеренно действующим смачивателям.

Для определения пенообразующей способности были получены и исследованы пены из водных растворов ПАВ различных концентраций (рисунки 4-6). Установлено:

- изменения объема пены со временем;
- зависимости максимального объема образовавшейся пены от концентрации ПАВ;
- зависимости устойчивости пены (времени существования пены) от концентрации ПАВ.

Из представленных зависимостей следует, что оба ПАВ позволяют получить пены, устойчивые в течение длительного времени (рисунок 4). Растворы ПАВ-2 с концентрацией 1 и 2 мас. % сохраняют остаточные количества



пены даже через сутки от начала эксперимента. В исходном растворе ПАВ-1 и при его разбавлении пена сохраняется в течение более часа.

Кратность пены исходного раствора ПАВ-1, 1 и 2 мас.% растворов ПАВ-2 примерно одинакова и близка к 4. По мере снижения концентрации ПАВ-1 кратность пены уменьшается (рис. 5).

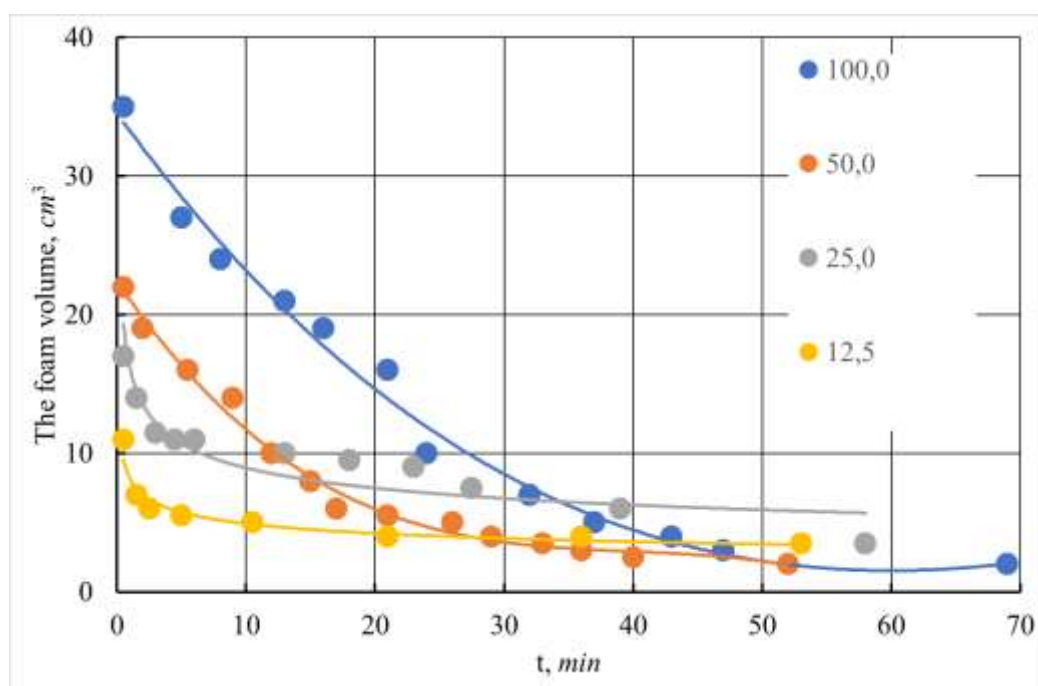
Зависимость устойчивости пены от концентрации раствора ПАВ-1, представлена на рис. 6. Наиболее устойчивую пену дает исходный раствор ПАВ-1, а при разбавлении происходит снижение устойчивости.

Дополнительно исследованы физико-химические свойства ПАВ: плотность, показатель преломления и pH водных растворов различных концентраций (табл. 3).

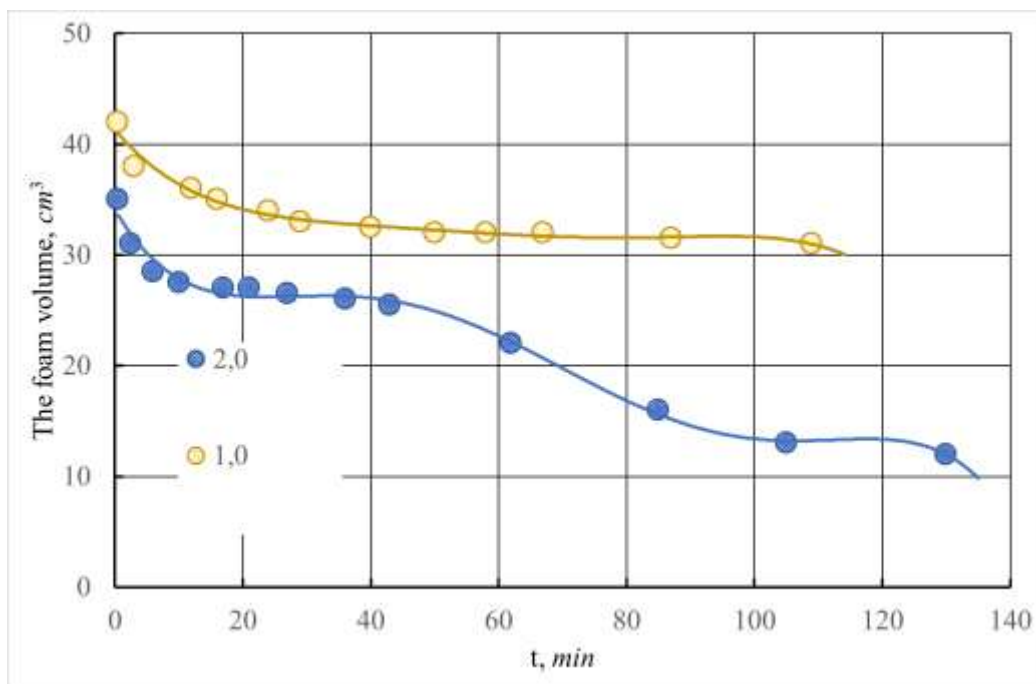
Таблица 3.

Физико-химические свойства ПАВ

Свойство	ПАВ-1				1% раствор ПАВ-2		
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,13951				1,00298		
Показатель преломления	1,3809				1,3348		
pH водных растворов	Концентрация ПАВ, мас.%						
	10,0	20,0	50,0	100,0	1,0	2,0	5,0
	8,45	8,45	8,46	8,56	8,64	8,86	8,95



а



b

Рисунок 4. Изменение объема пены со временем (а – ПАВ-1, б – ПАВ-2).

Цифры соответствуют концентрации растворов ПАВ в мас.%.

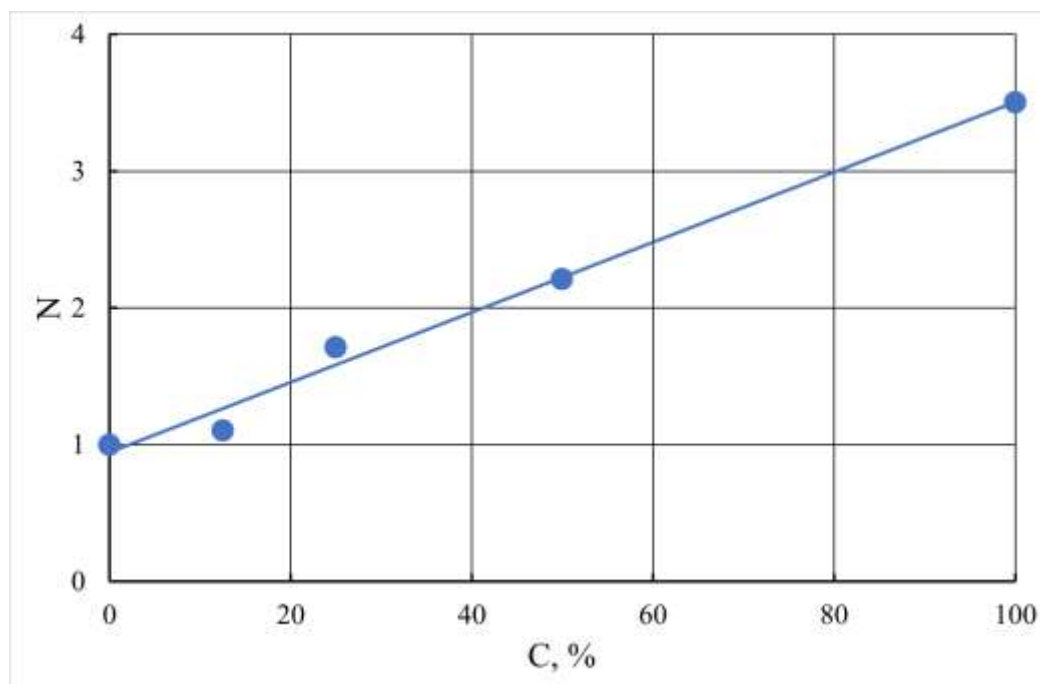


Рисунок 5. Зависимость кратности (N) образовавшейся пены от концентрации ПАВ-1

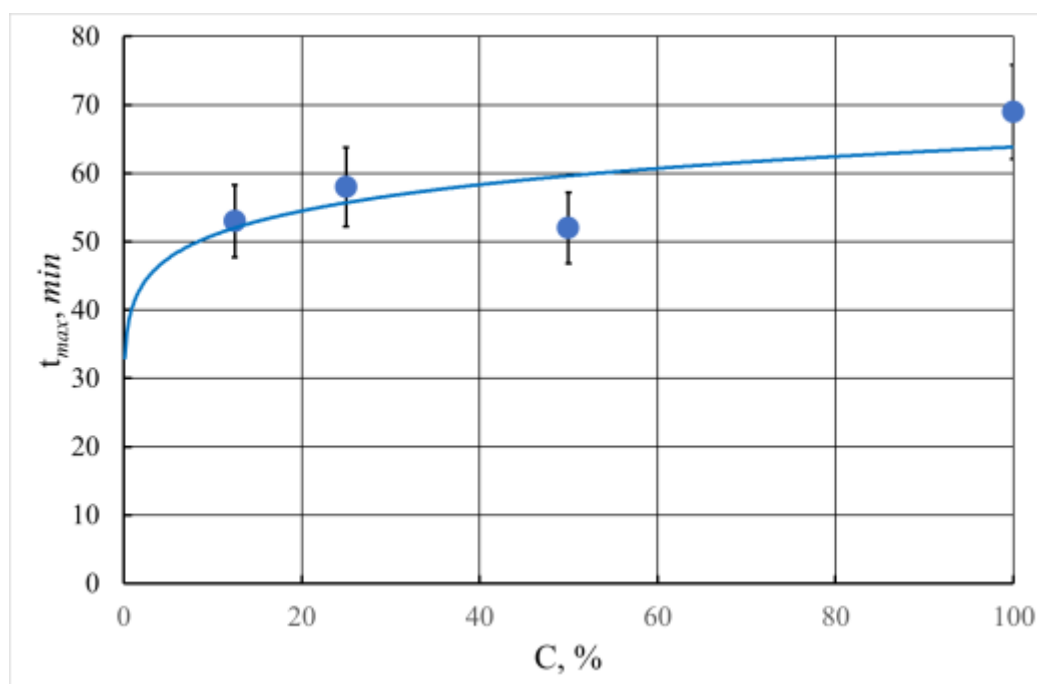


Рисунок 6. Зависимость устойчивости пены от концентрации ПАВ-1.

Возможность использования ПАВ в моющих средствах будет зависеть, прежде всего, от величины их растворимости в воде и органических растворителях: этиловом спирте, изопропиловом спирте, циклогексаноле, скипидаре, диметилформамиде, диметилсульфоксиде.

Установлено, что ПАВ-1 неограниченно растворим в воде и образует расслаивающиеся системы с органическими растворителями. В качестве примера изучена система ПАВ-1 – изопропиловый спирт – вода. Установлено, что при введении воды в гетерогенные смеси ПАВ-1 с изопропиловым спиртом происходит их гомогенизация. Изотерма растворимости системы представлена на рисунке 7.

ПАВ-2 растворяется в воде до 5 мас.%. Растворы с большей концентрацией после нагревания образуют стабильные гели. В органических растворителях ПАВ-2 практически не растворим.

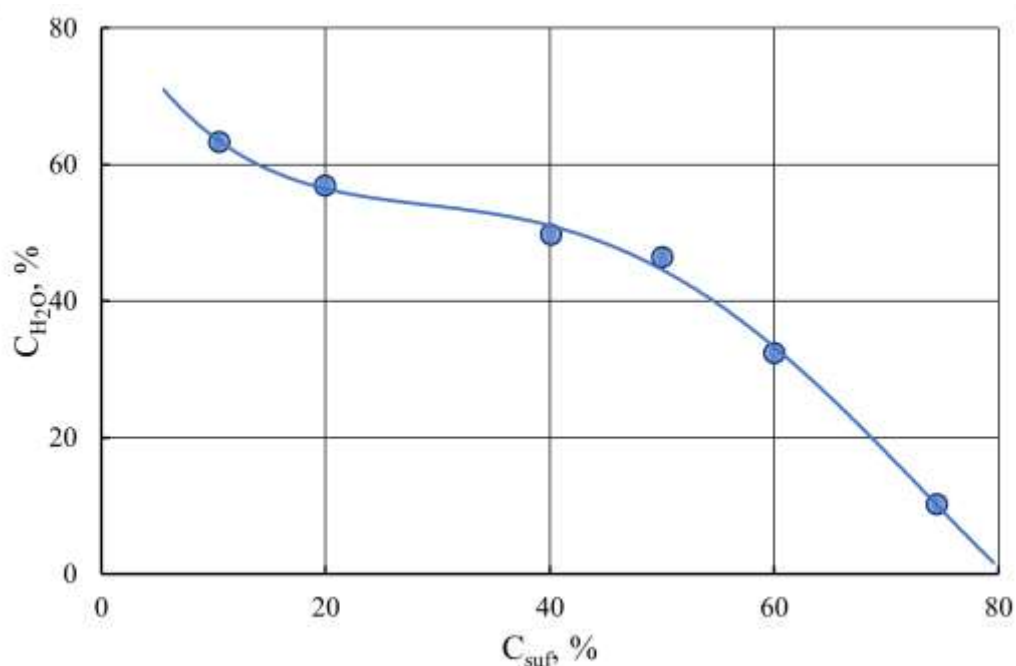
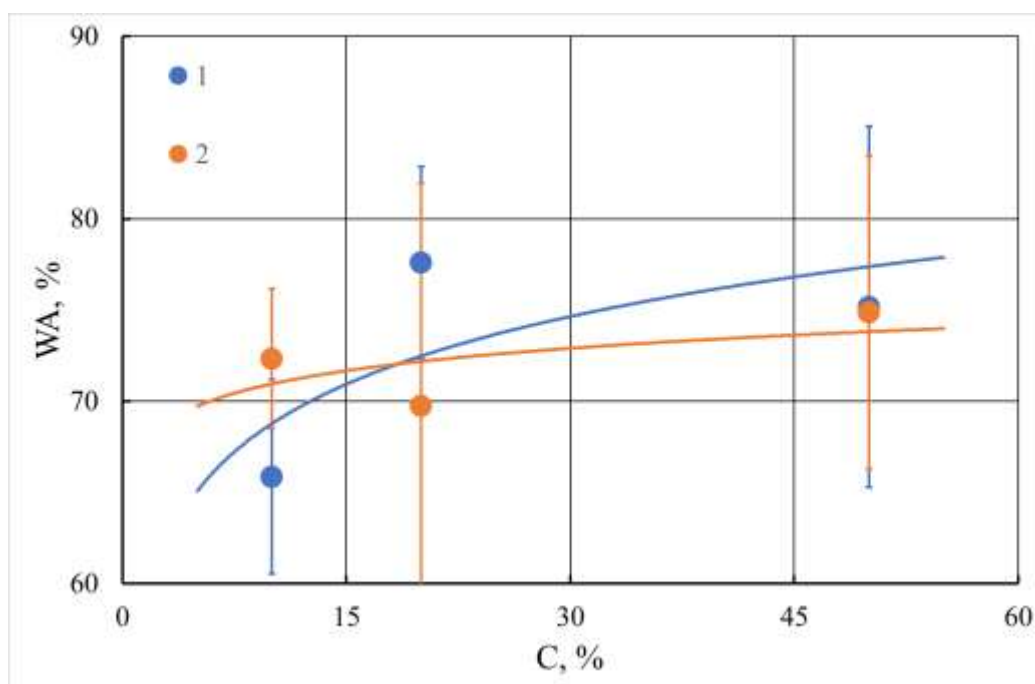
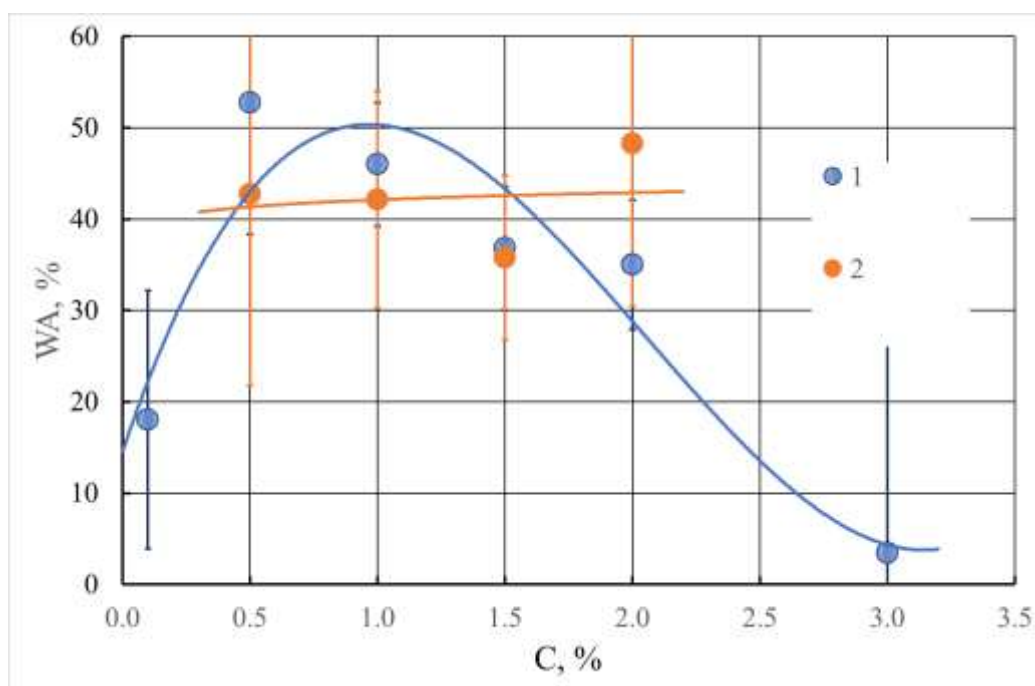


Рисунок 7. Изотерма растворимости системы ПАВ-1 – изопропиловый спирт – вода

Определена моющая способность водных растворов ПАВ различной концентрации в отношении некоторых технических загрязнителей. Результаты представлены на рис. 8 а, б. ПАВ-1 обладает более высокой моющей способностью, и она практически не зависит от концентрации раствора. Функциональная зависимость моющей способности растворов ПАВ-2 (загрязнитель – эмульсия укринола) проходит через максимум в интервале концентраций 0,5-1 мас.% (рис. 8б). Ввиду высокой вязкости растворы ПАВ-2 плохо удаляются с пластинок, поэтому после основной очистки пластинки дополнительно промывали в дистиллированной воде, что позволило несколько повысить моющую способность.



a



b

Рисунок 8. Средняя моющая способность растворов ПАВ-1 (а) и ПАВ-2 (б).

Загрязнители: 1 – эмульсия укринола; 2 – машинное масло И-30А

При использовании ПАВ в качестве компонента технических моющих средств принципиальное значение имеет их коррозионная активность. Полученные результаты для растворов ПАВ-1 и ПАВ-2 различных концентраций

в отношении стали 20 представлены в табл. 4. Эксперимент показал, что оба ПАВ являются коррозионно-активными веществами.

Таблица 4  
Коррозионная активность

Показатель	ПАВ-1		ПАВ-2		
	100	50	1	2	5
Концентрация раствора ПАВ, мас.%	100	50	1	2	5
Рабочая поверхность, м <sup>2</sup>	0.229	0.229	0.229	0.229	0.229
Убыль массы, г	1.121	0.889	0.175	0.0705	0.0519
Убыль массы с единицы поверхности, г/м <sup>2</sup>	4.902	3.890	0.764	0.308	0.226
Скорость коррозии, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	0.00262	0.00208	0.00041	0.00016	0.00012

В растворах ПАВ-1 поверхность пластинок становится матовой, а в растворах ПАВ-2 на поверхности пластинок появляются пятна разного размера и интенсивности.

Поскольку ПАВ-1 представляет собой продукт щелочного частичного щелочного гидролиза коллагеновых белков, то он должен обладать высокой биоразлагаемостью в условиях окружающей среды. В термодинамическом смысле все белковые ткани состоят из химической энергии, которая, если не поддерживается постоянным биохимическим поддержанием живого организма, начинает химически разрушаться на аминокислоты из-за реакции гидролиза под действием воды. Распад белков — это спонтанный процесс. Гидролиз белков осуществляется микробными протеазами. Поскольку компонентами ПАВ-1 являются полипептиды и олигопептиды, то природные микроорганизмы легко осуществляет разложение этих веществ до свободных аминокислот. Образовавшиеся свободные аминокислоты затем подвергаются ряду превращений, приводящих к выделению солей аммония и CO<sub>2</sub>. Эти процессы лучше всего происходит в условиях пониженного pH, который наблюдается в условиях отверждения бетона. Проведенные эксперименты по биодegradации полученных ПАВ показали, что ПАВ-1 при нахождении в воде из природного водоема в присутствии естественного ила, практически полностью терял свою способность к пенообразованию в течение 10-15 дней.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально установлено, что изученные соединения относятся к классу сильных анионоактивных мицеллообразующих ПАВ, снижающих поверхностное натяжение воды более чем в 3 раза. Значения ККМ: для ПАВ-1 - 12 мас.% (в пересчете на 100 % вещество), для ПАВ-2 – 0,2 мас.%.

Способность ПАВ-1 к образованию стабильных пен успешно используется в настоящее время при получении пенобетонов. ПАВ-2 дает еще более устойчивые пены, что доказывает перспективность его использования в качестве пенообразователя. Эта же способность ПАВ может отрицательно сказаться при их использовании в качестве компонентов моющих средств, предназначенных для механизированных способов очистки. В этом случае необходимо предусмотреть введение пеногасителей.

ПАВ-1 хорошо растворим в воде, с органическими растворителями образует расслаивающиеся смеси. Указанное обстоятельство может использоваться при разработке эмульсионных технических моющих средств или при утилизации отработанных моющих растворов. Способность ПАВ-2 к образованию стабильных гелей может быть использована при создании популярных в настоящее время гелеобразных очищающих средств.

Установлено, что ПАВ-1 обладает достаточно высокой моющей способностью в отношении технологических загрязнений (машинное масло, смазочно-охлаждающая жидкость). Высокая вязкость растворов ПАВ-2 может затруднить их использование в процессе очистки, т.к. будет необходима дополнительная операция отмывки поверхности от остатков ПАВ. Исследованные ПАВ являются коррозионно-активными веществами и при использовании их на металлических поверхностях необходимо предусмотреть введение ингибиторов коррозии.

Сравнительная экологическая безопасность ПАВ позволяет рекомендовать их к использованию в бытовых и косметических средствах, но для этого требуется устранение некоторых отрицательных свойств, например,

специфический запах ПАВ-1. В природных условиях ПАВ-1 подвергается быстрой биодegradации с потерей своих поверхностно-активных свойств.



**SECTION 2. COMPUTER SCIENCE****2.1 Approximation of boundary condition according to experimental data on the lower surface of the body during the simulation of the bulk water filter**

Nowadays the problem of purifying water to the state of drinkable one, as well as cleaning domestic and industrial sewage for secondary use occupies an important place among urgent tasks. At the stage of preliminary water purification mechanical filters, which are designed to remove undissolved particles larger than 5-50 microns in size, are most widely used. One of the varieties of such filters are bulk filters [61], consisting of granular backfills of different filtration properties.

Determination of the optimal characteristics of filters, regimes and time of their effective operation is based primarily on modeling the transfer processes that occur in them [62]. The exact solution for this class of problems cannot be found by classical methods of mathematical physics. In addition, taking into account both diffusion and convective components causes significant difficulties in using numerical methods.

Computer modeling is usually used to calculate filters, solving nonlinear problems of drinking or wastewater filtration by numerical methods. At the same time, to analyze the influence of porosity, sorption properties, and geometric parameters of a filter on the durability of its operation, it is advisable to obtain analytical solutions to similar problems in a linearized version of the description of sorption processes.

When creating a mathematical model of a multilayer water filter questions of the correct formulation of initial boundary-value problems and of the peculiarities of the application of methods for their solution arise, since today in the scientific literature no physically substantiated boundary condition has been proposed at the lower boundary of the bulk water filter. Under such conditions, it is necessary to develop approaches that would take into account specifics of mathematical description at the meso- or microlevel, that is, take into account the microstructure of the material of the macroelement when constructing the initial equations of the model, the characteristics of the macroelements (for example, geometric), the interaction of processes between the macroelements (in particular, the contact conditions) and etc. [63, 64]. Therefore,

we solve these problems in the complex by developing a systematic approach to the mathematical description of transfer processes in complex and composite systems [65] in the presence of experimental data at one of the boundaries of the body. In this paper, various approximations of the function of the concentration of polluting particles at the lower boundary of the body are considered.

To establish an estimate for the value of the unknown function let us take into account the following. The function of the concentration of particles at the lower boundary of the filter (three-layered porous body) is a continuous or piecewise continuous function of the time variable, that is, it belongs to space  $PC[0;T]$ ,  $t < T < \infty$ . Herewith for small times it is equal to zero (which is explained by the need for a certain time for the passage of admixture through the filter and the effective operation of the filter). The case when the unknown concentration function at the boundary of the body has a steady-state regime is also considered (for filters there is always a saturation time, after which the sorption properties of the filter are lost). Then the behavior of this function of time  $F(t)$ , which is a function of the concentration of particles at the lower boundary of the body, can be schematically represented as it is shown in Fig. 1.

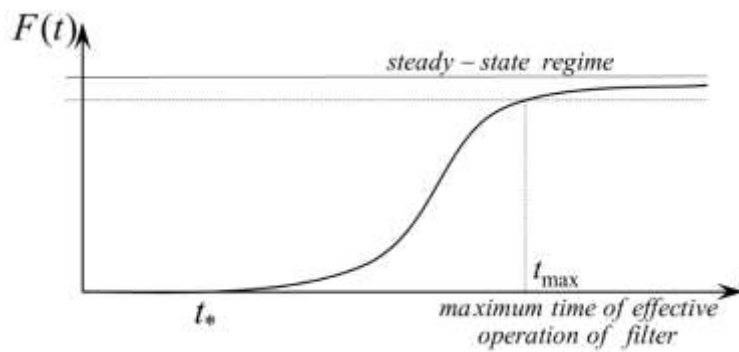


Figure 1. Schematic behavior of the function  $F(t)$

Let it be known (or can be measured) the value of the concentration function at the lower boundary  $x = x_0$  at certain points in time, i.e.

$t$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	...	$t_n$
$F(t)$	0	0	0	$F(t_4)$	$F(t_5)$	...	$F(t_n)$

In our case  $t_* = t_3$  (see Fig. 1).

Note also that if several series of measurements were carried out at the same time points, then the value of the function  $F(t)$  at the points  $t_i$  is determined as averaged values (Fig. 2), that is

$$F(t_j) = \frac{1}{K_j} \sum_{i=1}^{K_j} F^{(i)}(t_j), \quad j=1, \dots, n,$$

where  $i$  is an experiment batch number,  $i=1, \dots, K_j$ ,  $K_j$  is the number of measurements per point  $t_j$ .

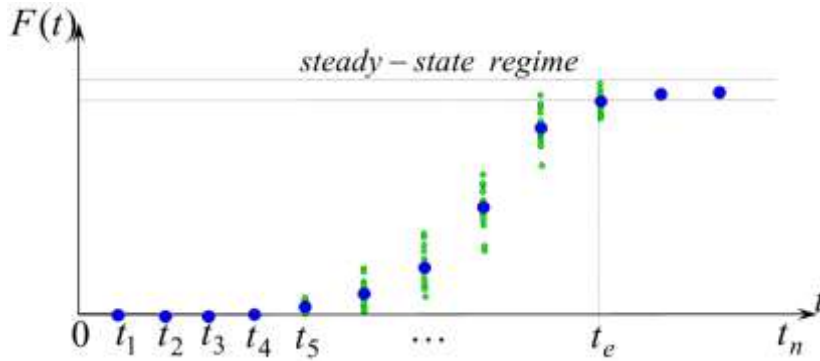


Figure 2. Schematic representation of measurement series and corresponding average values

The next step is to choose a method for constructing a function at the lower boundary of the body by values of  $F(t)$  at points  $t_i$ , in particular, the construction of interpolation, approximation or extrapolation function.

For example, having a sufficient set of experimental (measured) data, we construct an interpolation function. For the problem of convective diffusion in a three-layered filter, the Lagrange form is used for interpolation on a segment  $[0, t_e]$  in the form of the following polynomial [66]

$$F(t) = P_n(t) = \sum_{k=0}^n F(t_k) \frac{(t-t_0)(t-t_1)\dots(t-t_n)}{(t_k-t_0)(t_k-t_1)\dots(t_k-t_n)}, \quad (1)$$

in this case, the error of interpolation of the function  $F(t)$  by a polynomial  $P_n(t)$  is as follows

$$|F(t) - P_n(t)| \leq \frac{\|F^{(n+1)}(t)\|}{(n+1)!} \cdot \|\Pi_n(t)\|, \quad \Pi_n(t) = \prod_{k=0}^n (t-t_k).$$

In the space of real continuous functions, the corresponding norms take the form

$$\|F^{(n+1)}(t)\| = \max_{t \in [t_0; t_n]} |F^{(n+1)}(t)|, \quad \|\Pi_n(t)\| = \max_{t \in [t_0; t_n]} |\Pi_n(t)|.$$

If additional information about the behavior of the function  $F(t)$  is known, then we apply approximation methods, using, for example, the least squares method to determine the parameters of the approximation function optimally. In the case of an insufficient amount of experimental data, we use, for example, simple step-by-step extrapolation methods to find point estimates with confidence intervals [67]

$$F^*(t_i) = \bar{F}_i \pm t_a^{(i)} \sigma_i \sqrt{1 + \frac{1}{i}}, \quad i = n+1, n+2, \dots,$$

where  $t_a^{(i)}$  is a tabular value of  $L$  Student's criterion with  $i-1$  degrees of freedom [67],  $\sigma_i$  are standard deviations, that is

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^i F(t_k) - \bar{F}_i}{i-1}},$$

$\bar{F}_i$  are mean values of the function  $F(t)$  for the  $i$ th set of data, and  $\bar{F}_n$  is the average value over the set of all possible values  $F(t_k)$ , that is, over the sample.

Note that the right end of the interpolation segment, i.e. a point  $t_e$  is unknown. Accordingly, the time of termination of the experimental series is unknown. Taking into account the purpose of the investigation, that is, the establishment of the parameters of the filter operation, we use the fact of the existence of saturation time of the filter, i.e. the loss of sorption capacity. After the saturation time  $t_p$ , which is also unknown, only the process of convective diffusion of contaminant particles takes place in the body, and the process of purification of the contaminated solution stops. Accordingly, it is necessary to stop the experimental measurements and the filter operation.

Assuming that the difference between the concentrations at the current time and the saturation time  $t_p$  is less than a predetermined number  $\varepsilon$ , the value  $t_p$ , that is the time of reaching the steady-state regime (determination of the concentration with a certain accuracy), can be obtain by minimizing the inequality

$$\min_{t>0} |c(t, x_0) - c(t_p, x_0)| < \varepsilon.$$

Here  $c(t, x)$  is the concentration of the contaminant in the aqueous filter solution.

If we construct an interpolation (extrapolation) polynomial on the segment  $[0, t_p]$ , i.e. find the approximation of the function  $F(t, t_p)$ , where  $t_n = t_p$ , then the boundary condition on the lower surface of the body takes the form

$$c(t, x)|_{x=x_0} = F(t, t_p).$$

Let us find and investigate various approximations of the concentration function of admixture particles  $F(t, t_p)$  at the lower boundary of the three-layered filter  $x = x_0$  for specific experimental data.

### **Approximation of the function $F(t, t_p)$ by an interpolation polynomial**

Let the experimental data (the concentration of contaminant on the lower surface of the filter at certain points in time), listed in dimensionless form be given. The beginning of the filter operation (after cleaning) is taken as the zero point of time. Sample size (amount of experimental data) is equals to  $n = 9$ . Statistical data are given in Table 1. Note that zero values of function  $F(t)$  (for the interval  $t \in [0; 0.02)$ ) were discarded.

Table 1.

Measurement data of the concentration of contaminant on the lower surface of the filter at certain points in time

$t$	0.02	0.06	0.1	0.14	0.18	0.22	0.26	0.3	0.34
$F(t) \times 10^{+10}$	0.014	0.015	0.02	0.033	0.65	0.98	1.24	1.29	1.3

The data from Table 1 are presented in graphical form in Fig. 3.

According to the Table 1 we construct an interpolation polynomial of degree 8 by formula (1), then we obtain

$$F(t) = P_8(t) = \sum_{k=0}^8 F(t_k) \prod_{j=0, j \neq k}^8 \frac{(t-t_j)}{(t_k-t_j)}. \quad (2)$$

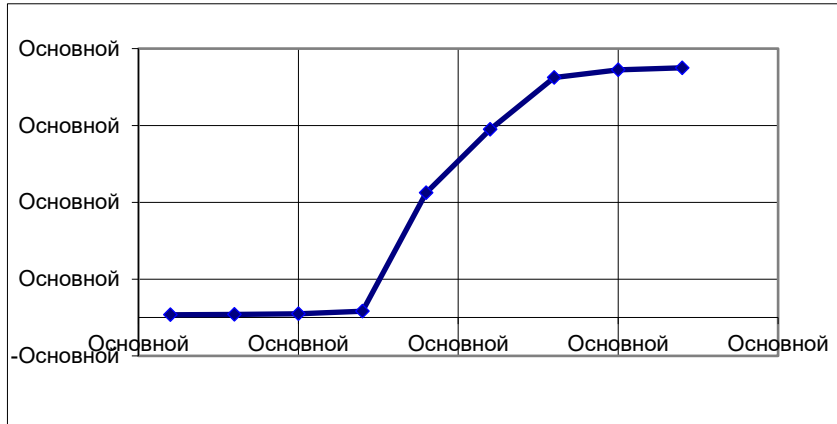


Figure 3. Measurement data of contaminant concentration on the lower surface of the filter at different times according to Table 1

Note that the basic polynomials  $l_k(t) = \prod_{j=0, j \neq k}^8 \frac{(t-t_j)}{(t_k-t_j)}$  have the following

properties: they are polynomials of degree 8,  $l_k(t_k) = 1$  and  $l_k(t_j) = 0$  for  $j \neq k$  [68]. Considering that a uniform distribution of interpolation nodes is given, then  $t_k \equiv t_0 + kh$ , where  $h = 0.04$ . The basic polynomial can be written as

$$l_k(t) = \frac{\prod_{j=0, j \neq k}^8 (t-t_0 - jh)}{h^8 \prod_{j=0, j \neq k}^8 (k-j)},$$

we will use this polynomial to calculate next interpolation polynomial

$$F(t) = P_8(t) = \sum_{k=0}^8 F(t_k) \frac{\prod_{j=0, j \neq k}^8 (t-t_0 - jh)}{h^8 \prod_{j=0, j \neq k}^8 (k-j)}. \quad (3)$$

According to Table 1 an interpolation polynomial of degree 8 is constructed in the form

$$F(t) = 5.659981408 \cdot 10^7 t^8 - 8.30247668 \cdot 10^7 t^7 + 5.0619337411 \cdot 10^7 t^6 - 1.65838244 \cdot 10^7 t^5 + 3.148474772 \cdot 10^6 t^4 - 3.478699093 \cdot 10^5 t^3 + 21289.39433 t^2 - 634.0433122 t + 6.508245264.$$

Figure 4 shows the comparative curves of the interpolation polynomial of the degree 8, calculated taking into account a uniform distribution of interpolation nodes and without it, i.e. by formulae (3) and (2). Here, the red curve denotes an interpolation polynomial taking into account the uniform distribution of nodes, and the blue curve is given for the polynomial calculated by formula (2).

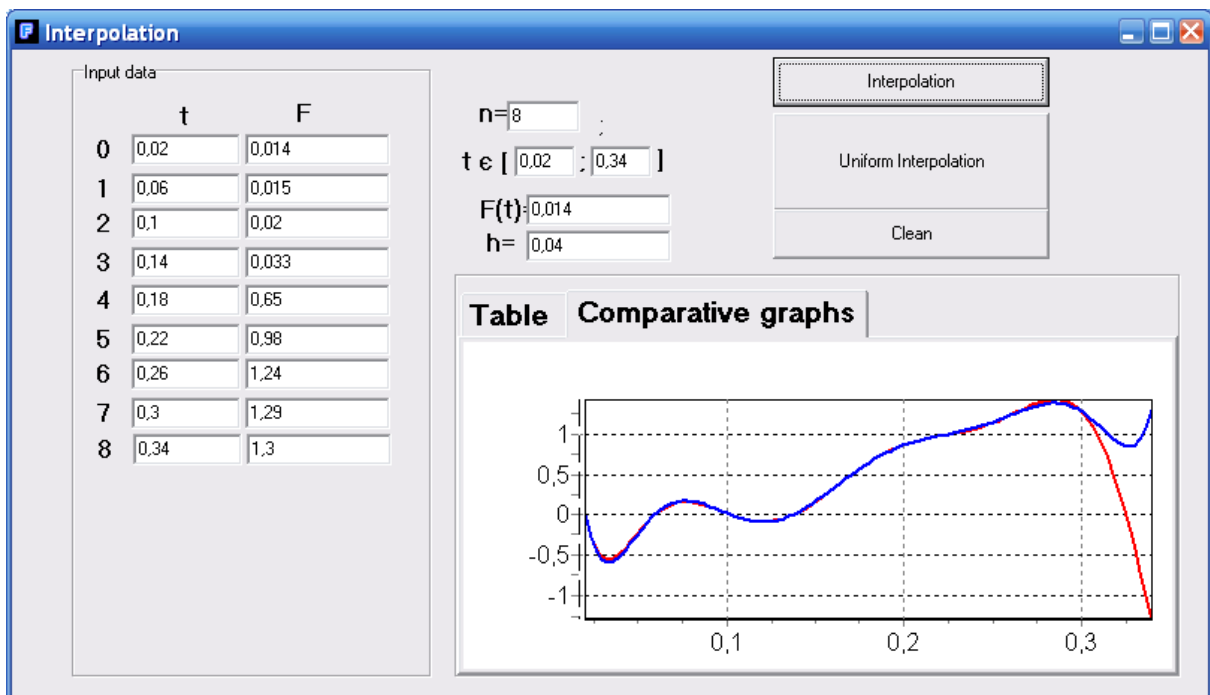


Figure 4. Comparative curves of the interpolation polynomial of degree 8

Note that in the interval  $t \in [0, 0.3]$  the values of these polynomials coincide quite well, and in all interpolation nodes they completely coincide, including with the given values of  $F(t)$ , and between the nodes the coincidence is observed up to the third significant digit. At the same time, on the last interpolation interval, there is a significant difference in the behavior of the interpolation polynomials (Fig. 4). However, if we assume that the function  $F(t)$  at the last point of the experimental measurements goes to the steady-state regime (from physical considerations), then including additional interpolation nodes with the value of the function equal to the

value in the 9th node  $F(t_{10}) = \dots = F(t_{13}) = F(t_8)$ , we obtain a complete match, as shown in Fig.5.

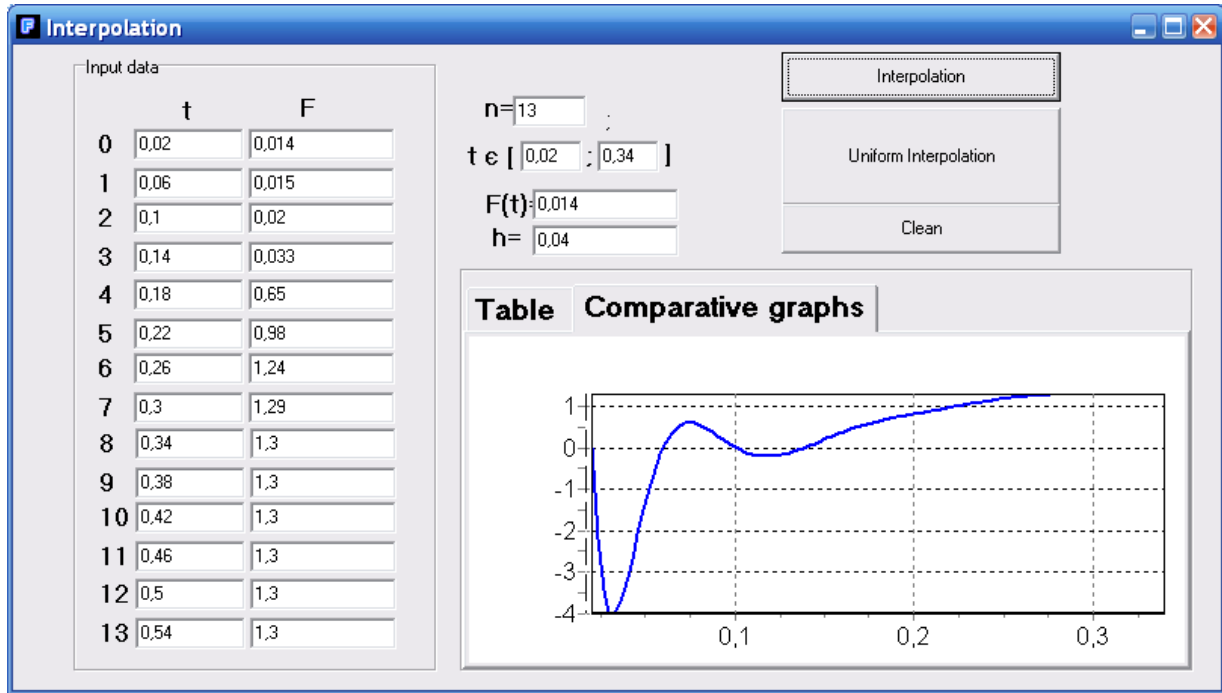


Figure 5. Comparative curves of the interpolation polynomial of degree 13 taking into account additional nodes of the steady-state regime

Note that the obtained behavior of the interpolation function  $F(t)$  for all considered cases contradicts the physical conditions of the mass transfer process, in particular, the function  $F(t)$  is the concentration of admixture particles at the lower boundary of the filter, and it cannot take negative values. In this case, negative values account for more than 30% of the studied interval (Fig. 4, 5). Also note that the minimum negative values of the function  $F(t)$  are very large in absolute values, which are achieved when  $t = 0.0328$ , for the polynomial of degree 8  $F(0.328) = -0.549$ , and for the polynomial of degree 13 the absolute value increases significantly  $F(0.328) = -4.027$ .

Comparing the graphs shown in Fig.3 and Fig.4, 5, from our point of view, the approximation of the function  $F(t)$  by the interpolation polynomial does not give an adequate representation of the experimental data.



**Approximation of the function  $F(t, t_p)$  by approximating polynomials**

Let us construct, on the basis of the experimental data given in Table 1, the approximation polynomials of the 5th and 7th degrees [68].

The approximating polynomial of degree 5 is obtained by the method of least squares

$$f(a_1, \dots, a_5) = \sum_{i=1}^n \left[ F(t_i) - \sum_{k=0}^5 a_k t^{5-k} \right]^2 \xrightarrow{\{a_k\} \in R} \min .$$

As a result, we obtain

$$f(t) = a_0 t^5 + a_1 t^4 + a_2 t^3 + a_3 t^2 + a_4 t + a_5, \tag{4}$$

where the coefficients are found as follows

$$\begin{aligned} a_0 &= 14279,09655; & a_1 &= -13097,26244; & a_2 &= 4130,984575; \\ a_3 &= -507,1611396; & a_4 &= 23,52842174; & a_5 &= -0,286711311. \end{aligned}$$

The data calculated from the results of approximation by a polynomial of degree 5 (4), with a step  $\tilde{h} = 0.02$  on the approximation interval, are given in table 2, and the corresponding graph of the function  $f(t)$  is shown in Fig.6.

Taking into account that the approximating polynomial of degree 5 takes negative values on the approximation interval, in particular for  $t \in [0.08, 0.12)$ , and is not a monotonic function around the right end of the approximation interval, in particular for  $t \in [0.28, 0.34]$  (Fig. 6, Table 2), we construct other variants of approximating polynomials for the same experimental data.

Using the least squares method again we construct an approximation polynomial of degree 5 with odd powers and with a free term

$$f(t) = a_0 t^5 + a_2 t^3 + a_4 t + a_5, \tag{5}$$

where  $a_0 = -924,9024445$ ;  $a_2 = 146,8541036$ ;  $a_4 = -0,991847199$ ;  $a_5 = 0,010855253$ ,

as well as an approximation polynomial of degree 5 with odd powers and without a free term

$$f(t) = a_0 t^5 + a_2 t^3 + a_4 t, \tag{6}$$

where  $a_0 = -914,0356499$ ;  $a_2 = 144,7979744$ ;  $a_4 = -0,864526932$ .

Table 2.

Function  $f(t)$  values approximated by the polynomial of degree 5

$t$	$f(t) \times 10^{+10}$	$t$	$f(t) \times 10^{+10}$
0,02	0,011991	0,2	0,794095
0,04	0,075284	0,22	1,007464
0,06	0,032869	0,24	1,170693
0,08	-0,02488	0,26	1,266956
0,1	-0,04143	0,28	1,294928
0,12	0,011382	0,3	1,274275
0,14	0,138851	0,32	1,251132
0,16	0,328874	0,34	1,30359
0,18	0,557436		

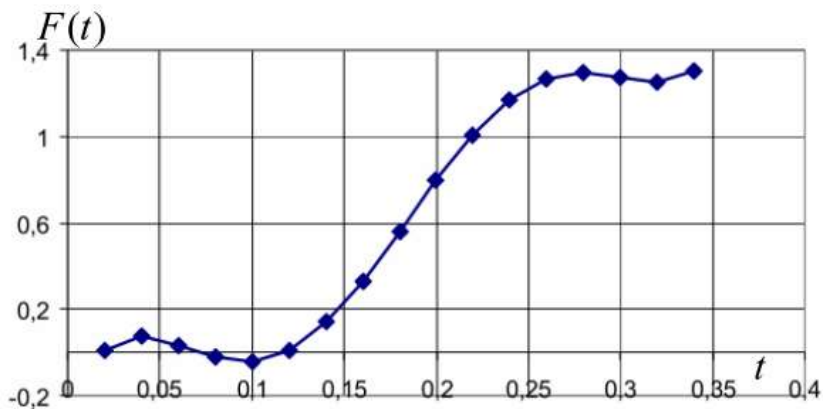


Figure 6. Approximating polynomial of degree 5 (4)

Graphs of the function  $f(t)$  calculated from the results of approximation by the polynomial of degree 5 with odd powers with free term, i.e. by formula (5), and without free term, i.e. by formula (6), are shown in Fig. 7a and 7b, respectively.

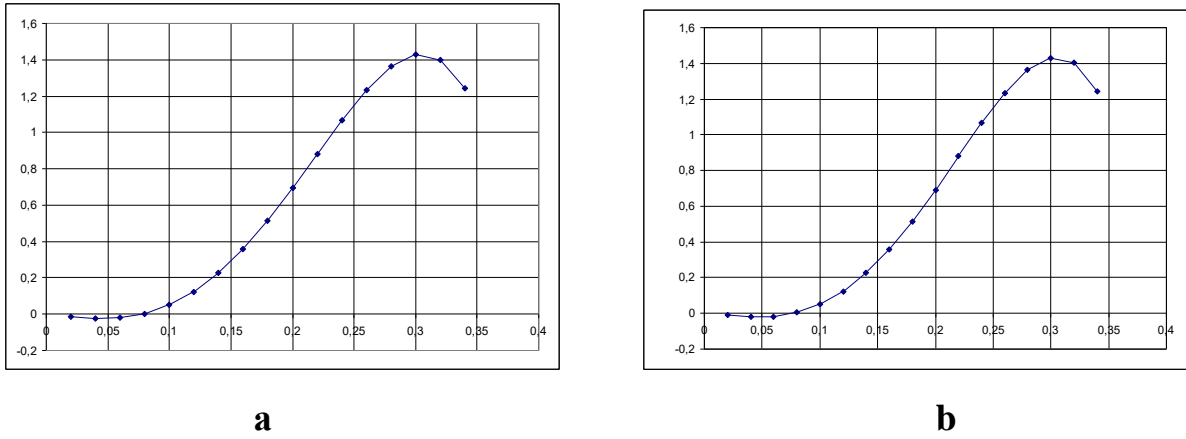


Figure 7. The result of approximation of the input data by the polynomial of degree 5 with odd powers with free term (a) and without it (b)

The approximating polynomial of degree 3 is obtained in the form

$$f(t) = a_0t^3 + a_1t^2 + a_2t + a_3,$$

where coefficients are found as follows

$$a_0 = -202,9934764; a_1 = 113,3678301; a_2 = -12,09226942; a_3 = 0,264223214.$$

The data calculated from the results of approximation by the polynomial of degree 3 with the step  $\tilde{h} = 0.02$  on the approximation interval are given in Table 3, and the corresponding graph of the function  $f(t)$  is shown in Fig.8.

Table 3.

Function  $f(t)$  values approximated by polynomial of degree 3

$t$	$f(t) \times 10^{+10}$	$t$	$f(t) \times 10^{+10}$
0,02	0,066101	0,2	0,756535
0,04	-0,05107	0,22	0,929452
0,06	-0,09704	0,24	1,085884
0,08	-0,08154	0,26	1,216085
0,1	-0,01432	0,28	1,310313
0,12	0,094875	0,3	1,358823
0,14	0,236301	0,32	1,351873
0,16	0,400215	0,34	1,279717
0,18	0,576874		

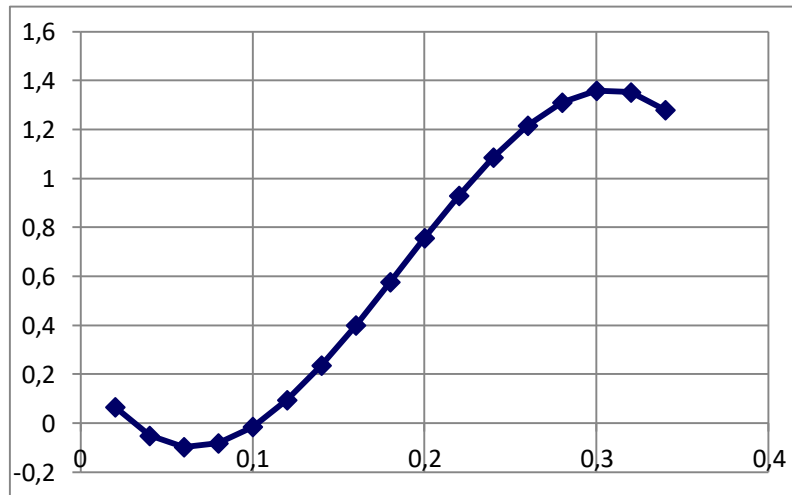


Figure 8. The result of approximation of the input data by the polynomial of degree 3

We also construct an approximation polynomial of degree 7 similarly to the construction of the polynomial of degree 5 in the form

$$f(a_1, \dots, a_7) = \sum_{i=1}^n \left[ F(t_i) - \sum_{k=0}^7 a_k t^{7-k} \right]^2 \xrightarrow{\{a_k\} \in R} \min.$$

As a result, we obtain

$$f(t) = a_0 t^7 + a_1 t^6 + a_2 t^5 + a_3 t^4 + a_4 t^3 + a_5 t^2 + a_6 t + a_7, \quad (7),$$

where

$$a_0 = -1450796,01260295; a_1 = 1805555,50843512; a_2 = -886069,070361889; a_3 = 216715,41178415; a_4 = -27645,2171774296; a_5 = 1802,76008721805; a_6 = -54,3462380059829; a_7 = 0,567848833287208.$$

Figure 9 illustrates the behavior of approximation polynomial of degree 7 constructed by formula (7).

Note that although it is considered that a continuous function in a uniform metric is adequately approximated by a polynomial of the fifth degree [69], it was shown that to obtain a more accurate approximation it is not possible to raise the degree of the polynomial to 7 or to low it to 3 and use special cases of the approximating polynomial of degree 5. To select a nonlinear approximation function (for this case, for example *arctg*) and apply the alignment method [70], it is necessary to take into account that the approximation function should be convenient for further use during solving a

boundary value or contact-boundary value problems, for example, by methods of integral transformations, including non-classical or Green's functions methods [71]. At the same time, “the use of the least squares method (LSM) for constructing mathematical models of real processes based on the results of specific measurements of output parameters leads to necessity of solving incorrectly formulated problems” [72, 73].

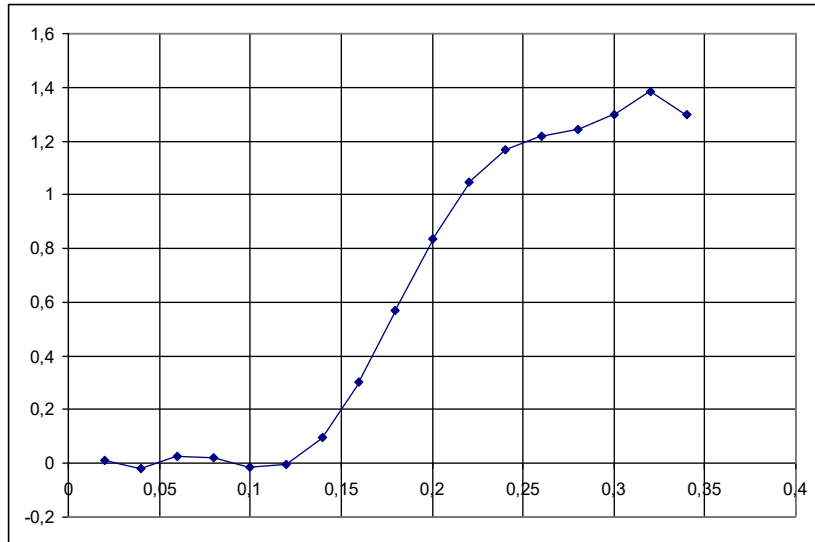


Figure 9. The result of approximation of the input data by the polynomial of degree 7

### Approximation of the function $F(t, t_p)$ by extrapolation polynomials

Note that extrapolation is a special type of approximation in which the function is approximated outside a given interval, and not between given values [74]. Moreover, extrapolation methods are similar to interpolation methods in many cases.

The most common method of extrapolation is polynomial extrapolation, in which the value  $F(t)$  at the point  $t$  is the value of the polynomial  $P_n(t)$  of degree  $n$ , which takes the specified values  $F(t_{n+1})$  at the point  $n+1$ . Therefore, we use constructed interpolation formulae (2), (3).

According to Table 1 point  $t_{n+1} = t_9 = t_8 + h = 0.38$ .

Using the polynomial (2), we find

$$F(0.38) = P_8(0.38) = \sum_{k=0}^8 F(t_k) \prod_{j=0, j \neq k}^8 \frac{(0.38 - t_j)}{(t_k - t_j)} = 25.93690526.$$

We construct the interpolating polynomial of degree 9

$$F(t) = -998x^9 + 5.66014301 \cdot 10^7 \cdot x^8 - 8.30258818 \cdot 10^7 \cdot x^7 + 5.06197653 \cdot 10^7 \cdot x^6 - 1.658392846 \cdot 10^7 \cdot x^5 + 3.148489372 \cdot 10^6 \cdot x^4 - 3.47871221 \cdot 10^5 \cdot x^3 + 21289.46303 \cdot x^2 - 634.0451407x + 6.508262832.$$

Figure 10 shows the comparative curves of the extrapolation polynomial of degree 9, calculated taking into account the uniform distribution of interpolation nodes and without it, i.e. by formulae (3) and (2). Here the red curve denotes the interpolation polynomial taking into account the uniform distribution of nodes, and the blue curve is given by formula (2).

Now we construct the interpolation polynomial of degree 10

$$F(t) = -6245 \cdot 10^7 \cdot x^{10} + 11490 \cdot x^9 + 5.6590605 \cdot 10^7 \cdot x^8 - 8.3020547 \cdot 10^7 \cdot x^7 + 5.06181198 \cdot 10^7 \cdot x^6 - 1.658359910 \cdot 10^7 \cdot x^5 + 3.14844635 \cdot 10^6 \cdot x^4 - 3.478676680 \cdot 10^5 \cdot x^3 + 21289.28786 \cdot x^2 - 634.040679x + 6.50822097.$$

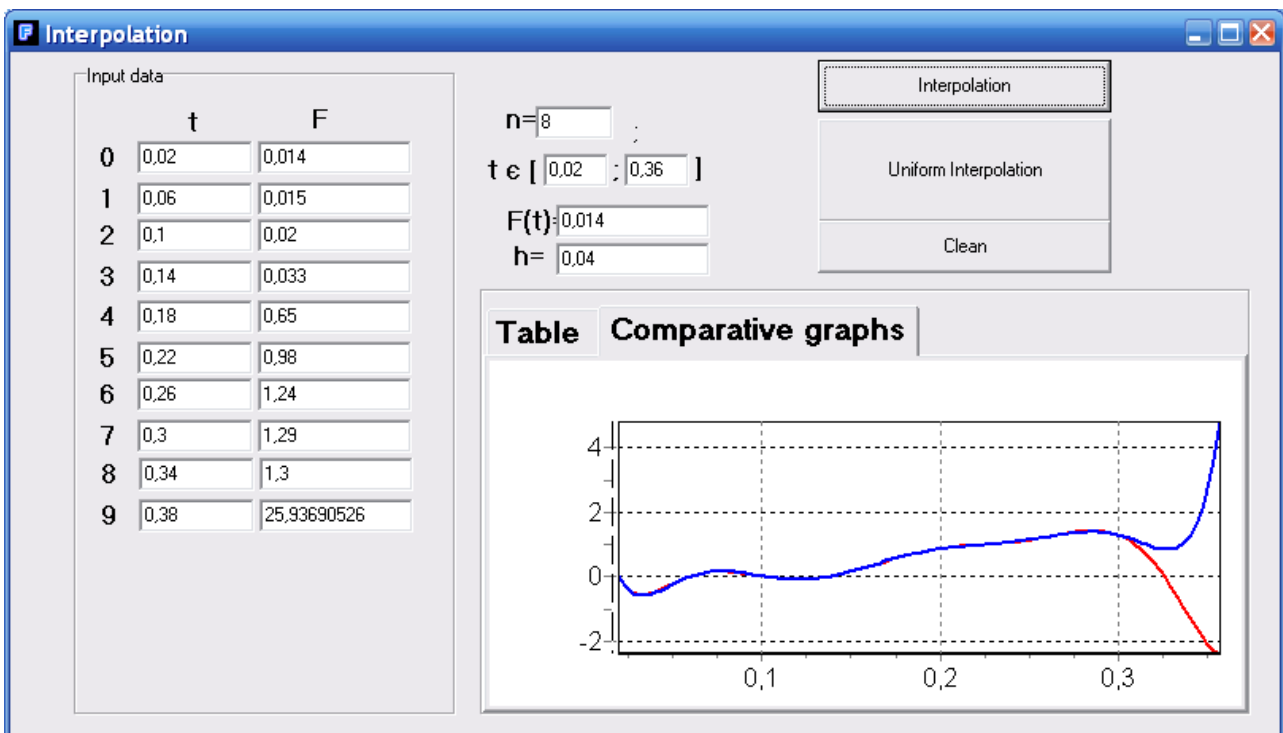


Figure 10. Comparative curves of extrapolation polynomial of degree 9

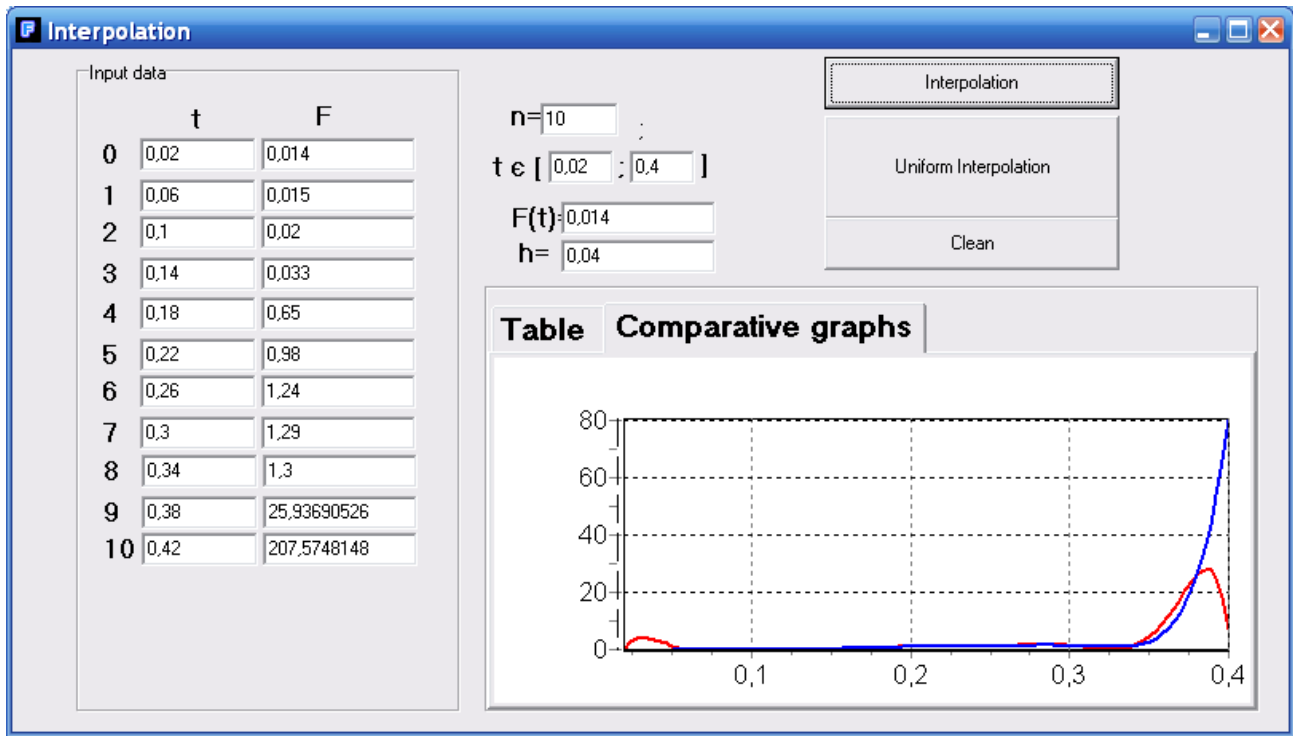


Figure 11. Comparative curves of extrapolation polynomial of degree 10

Figure 11 shows the comparative curves of the extrapolation polynomial of degree 10 with two additional nodes, calculated taking into account the uniform distribution of interpolation nodes and without it, i.e. by formulae (3) and (2), the red curve represents the interpolation polynomial taking into account the uniform distribution of nodes, and the blue curve represents the interpolation polynomial calculated by formula (2).

In order to improve the extrapolation results, the method of rational extrapolation proposed by Bullirsch and Stoer was used [75]

$$T_{r,-1} = 0, \quad r = 1, \dots, M; \quad T_{r,0} = F(t_{i+1}, h_r), \quad r = 0, 1, \dots, M;$$

$$T_{r,s} = T_{r+1,s-1} + \frac{T_{r+1,s-1} - T_{r,s-1}}{\left(\frac{h_r}{h_{r+s}}\right)^\gamma \left(1 - \frac{T_{r+1,s-1} - T_{r,s-1}}{T_{r+1,s-1} - T_{r+1,s-2}}\right) - 1}, \quad s = 1, 2, \dots, M; \quad r = 0, 1, \dots, M - s.$$

Usually put  $\gamma = 1$  or  $\gamma = 2$ . As a result, we form the next one data table.

	$T_{0,0}$			
$T_{1,-1}$		$T_{0,1}$		
	$T_{1,0}$		$T_{0,2}$	
$T_{2,-1}$		$T_{1,1}$		
	$T_{2,0}$			$T_{0,M-1}$
	$\vdots$			$T_{0,M}$
		$T_{M-2,1}$		$T_{1,M-1}$
	$T_{M-1,0}$		$T_{M-2,2}$	
$T_{M,-1}$		$T_{M-1,1}$		
	$T_{M,0}$			

The value  $T_{0,M}$  is accepted as the refined result of  $\hat{F}(t_{n+1})$ .

In [75], it is recommended to take the maximum extrapolation order  $M = 6$ .

Summing up, we note that, in our opinion, the most adequate to the real situation is using the approximation polynomial of degree 5, that is

$$c(t, x)|_{x=x_0} = F(t, t_p) = 14279.09t^5 - 13097.26t^4 + 4130.98t^3 - 507.16t^2 + 23.52t - 0.286, \quad 0 < t \leq t_p = 0.34. \quad (8)$$

Thus, the approximation of experimental data of admixture concentration values on the lower boundary of the water filter by interpolation, approximation and extrapolation polynomials of different degrees is analyzed. It is shown that in the case when for physical reasons it is impossible to impose a correct mathematical condition, in particular, on the lower boundary of the body, but experimental data of the concentration of admixture particles on this surface are known, it is advisable to use for approximation the approximating polynomial of degree 5 in the form (8).



## 2.2 Creation of information systems using power algorithms

The technology of creating information systems (IS) sets special requirements for implementation methods and software tools, namely: Implementation of projects to create IS is divided into stages: analysis (before creating IS, you need to understand and describe the business logic of the subject area), design (it is necessary to define modules and architecture of the future system), direct coding, testing and support. It is known that the correction of errors made at the previous stage is about 10 times more expensive than at the current stage, which means that the most critical are the first stages of the project. Therefore, it is very important to have effective means of automating the early stages of the project, so the aim of the article is to avoid mistakes in the early stages, by visually representing the interaction of information system nodes with graphs, and show how different information system nodes can form different architectures.

A graph is called oriented if each edge has a direction, ie the beginning (end) is specified. Otherwise, the graph is called either partially oriented (some edges are oriented and others are not), or undirected (simple).

Characteristics on which we will rely when choosing a styling algorithm:

1) Minimum of sections of edges Everything is simple: when there are many sections, "porridge" turns out, when it is not enough, then the picture looks "cleaner"

2) Adjacent vertices are close to each other, non-adjacent are distant. A graph by definition is a set of connections between vertices and a set of vertices. Making connected vertices closer to each other is a direct and logical way to express the basic properties of graph data.

3) Communities are grouped into a cluster This follows from the previous paragraph. If there are many nodes that are more closely related to each other than to any other graph, they form a "community" and should look like a dense cluster in the image.

4) The minimum overlap of vertices and edges is quite obvious. If we can't make out one object or several, then the visualization reads poorly.

5) Distribution of vertices and / or edges evenly This condition is useful if the properties of the graph do not allow to consider at least some structure otherwise. For example, if our whole graph is one dense cluster, it is better to smear it on the picture to see at least the unevenness of the connections than to allow it to merge into one solid spot.

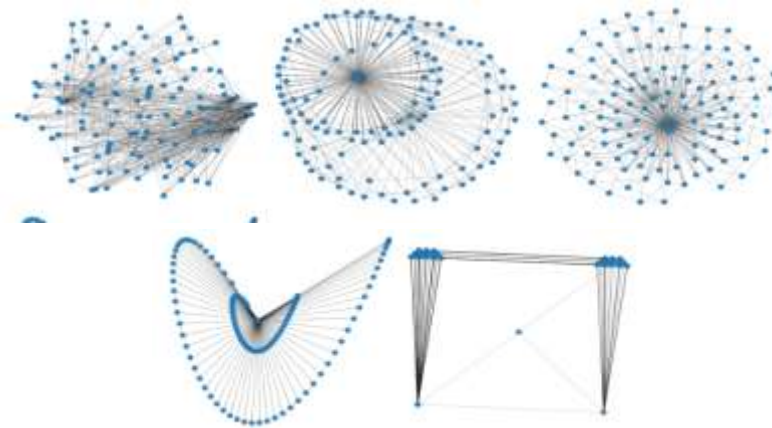


Fig. 1. The same graph in different layouts.

Three main algorithms for stacking graphs:

- Force-directed and Energy-Based
- Dimension Reduction
- Node Features

The Force-Directed and Energy-Based are presented in Fig. 2.

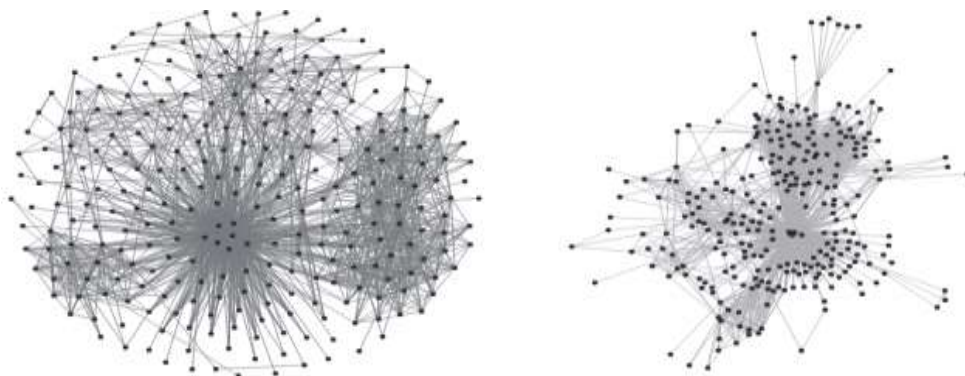


Fig. 2. The same graph in different layouts

These methods use simulation of physical forces. The vertices are represented as charged particles that repel each other, and the edges as elastic strings that pull adjacent vertices. The motion of the vertices in such a system is then simulated until a steady state is established in which all the vertices stop moving from the center and stop in

one place (stationary), by means of edges that will stretch as much as possible and will not allow the vertices to continue moving. And set the so-called steady state. Other approaches try to describe the potential energy of such a system and determine the location of the vertices that will correspond to the minimum.

The minimum will correspond to the place where the potential energy of the vertex will be minimal or equal to 0, because we have two forces acting on the vertex - the force that pushes the vertex away from the center and the tension force of the rib that prevents the vertex from moving infinitely from the center. These two forces act in opposite directions, thus compensating each other and forming the minimum, which will correspond to the location of the vertex in space.

Pros of this family of algorithms as a picture. Usually it turns out really good stacking, which reflects the topology of the graph. Cons are among the parameters that need to be adjusted and, of course, computational complexity. For each vertex you need to calculate the forces acting on all other vertices.

For our case, the computational complexity will be  $O(n * n)$ , since we can have  $n$ -vertices and  $n$  connections.

Since the charged particle method satisfies our basic conditions:

- 1) Minimum cross-sections of the ribs
- 2) Minimum overlaps of vertices and edges
- 3) Communities are grouped into a cluster

Then choose it for our system.

Using an unoriented unweighted graph, we will visualize all the relationships of the criteria that will form and show the individual groups of vertices, which in turn will indicate which architecture to choose based on the specified criteria.

Our vertices will always try to start from the center (Fig. 3):



Fig. 3. Representation of separate groups of vertices

Now analyzing all the vertices, we provide the appropriate connections according to the basic principles of information systems design (Fig. 4).

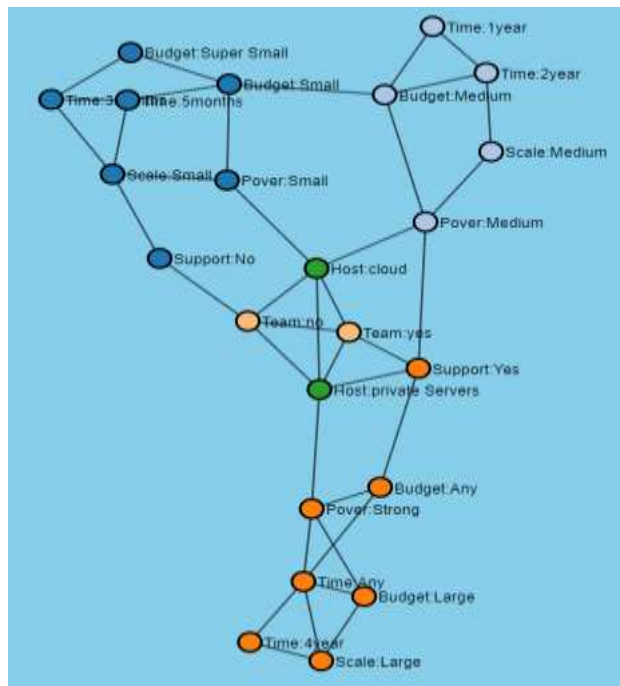


Fig. 4. Connections of criteria

Here we can identify the main 3 groups of architectures that follow from a set of criteria (Fig. 5):

- Client-server.
- Microservices.
- Monolith.

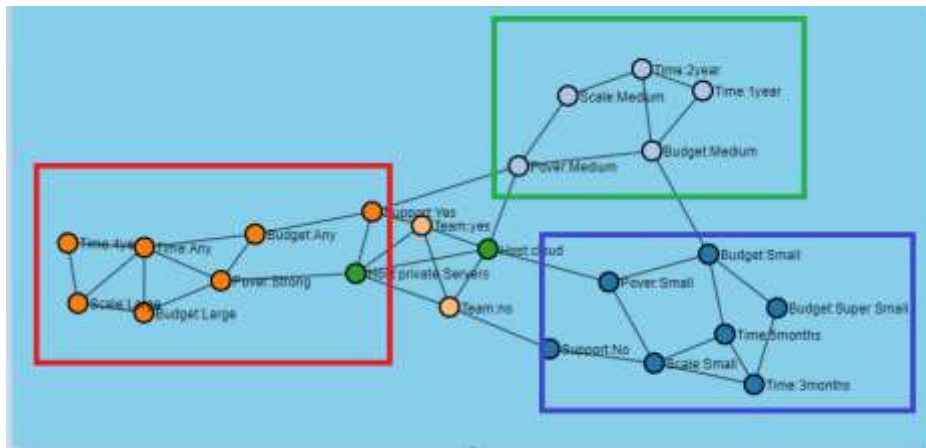


Fig. 5. Groups of criteria

Suppose we want to choose an architecture for our information system having the following criteria:

- Budget: Small;
- Time: less 1 year;
- Host: cloud;
- Support: no.

It is clear that our connection criteria belong more to the blue group, so the optimal architecture for our case will be Client-server.

You can also look at what we should hope for for the given criteria:

- Power: Small;
- Scale: Small;
- Team: no.

In this paper, we considered one of the main methods of data visualization - visualizes the relationship of objects using non-oriented graphs. Also, for better visual placement and stacking of graphs, various power stacking algorithms were considered and the best option was chosen. For a better understanding, the subject area was chosen - the image of the architectures of the information system using the links of criteria and analysis.

### 2.3 Cybersecurity guarantees as a factor of information security

Today, in the context of globalization, it is information security (hereinafter – IS) that is a requirement for the existence of both a citizen (individual, personality) and the state and society as a whole.

Specialists of CISCO, an American TNC and a world leader in the field of high technologies, understand cybersecurity as the practice of protecting systems, networks, and programs from digital attacks. At the same time, it is indicated that cyberattacks are usually aimed at accessing, modifying, or destroying confidential information; extortion of money from users; or interruption of normal business processes<sup>1</sup>.

A. Johansen, IT specialist, writes in his article that cybersecurity is the practice of protecting electronic systems, networks, computers, mobile devices, programs, and data from harmful digital attacks. At the same time, cybercriminals can carry out various attacks against individual victims or enterprises, incl. illegal access, modification or deletion of confidential data; extortion payments; or interference in business processes. And digital security can be achieved through an infrastructure that is divided into three key components: IT security, cybersecurity, and computer security.

Scientists also have their own opinion on this matter. For example, Daniel Schatz, Rabih Bashroush, Julie Wall believe that cybersecurity is an approach and actions related to security risk management processes that organizations and governments adhere to protect the confidentiality, integrity, and availability of data and assets used in cyberspace. The vision includes guiding principles, policies, and compilations of security measures, technologies, tools, and training to ensure the best protection of the cyber asset state and users<sup>2</sup>.

Why is cybersecurity so important? The fact is that we interact with computers and networks every day: we work, do shopping, do business, even build relationships

---

<sup>1</sup> <https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/what-is-cybersecurity.html>

<sup>2</sup> Daniel Schatz, Rabih Bashroush, Julie Wall. Towards a More Representative Definition of Cyber Security. Journal of Digital Forensics, Security and Law. 2017. № 12, Vol. 2. – P. 66.

thanks to the Internet and IT in general. With such a high dependence on computers, ignoring the likelihood of cybercrime, for example, at work, is very risky and potentially harmful directly to the person himself, to his business, employees, and customers. Without a sense of security, work, business, even the social life of an individual is at high risk of cyberattacks. Accordingly, the impact of cybercrimes at the level of society, and even more so the state, should be given the closest attention.

We can conclude that it is important not to equate information security with digital (cybersecurity). The main difference between them is that the first is aimed at ensuring the security of data in any form, while the second protects precisely digital data<sup>3</sup>.

We should also distinguish cybersecurity from the network and IT security<sup>4</sup>:

- IT security (also the security of electronic information) is the protection of data where it is stored and as it moves through the network. While cybersecurity only protects digital data, IT security protects both digital and physical data from attackers.

- cybersecurity is a kind of IT security. While IT security protects both physical and digital data, cybersecurity protects the digital data on our networks, computers, and devices from unauthorized access, attacks, and destruction.

- network security (also computer security) is a kind of cybersecurity. This type of security uses hardware and software to protect any data that is sent through a computer and other devices to the network. Network security protects your IT infrastructure and protects data against intercepting, adjusting, or stealing by cyber criminals.

According to the same expert, to be better protected, it is important to know the different types of cybersecurity. These include critical infrastructure security, network security, application security, information security, cloud security, data loss

---

3

<https://itsecforu.ru/2018/01/02/%d0%ba%d0%b8%d0%b1%d0%b5%d1%80%d0%b1%d0%b5%d0%b7%d0%be%d0%bf%d0%b0%d1%81%d0%bd%d0%be%d1%81%d1%82%d1%8c-%d0%b8%d0%bb%d0%b8-%d1%81%d0%b5%d1%82%d0%b5%d0%b2%d0%b0%d1%8f-%d0%b1%d0%b5%d0%b7%d0%be%d0%bf/>

<sup>4</sup> <https://us.norton.com/internetsecurity-malware-what-is-cybersecurity-what-you-need-to-know.html>

prevention, and end-user guidance. Information security (also known as InfoSec) protects both physical and digital data - data in any form - from unauthorized access, use, modification, disclosure, deletion, or other forms of malicious activity<sup>5</sup>.

There is another point of view, according to which the five main types of cybersecurity are as follows:

- the security of critical infrastructure, which in turn consists of cyber-physical systems entrusted to modern society. These are electricity, water purification and supply, traffic lights, hospitals, and the like. Of course, the presence of the electrical grid infrastructure on the Internet makes it vulnerable to cyber-attacks. Organizations responsible for any critical infrastructure must exercise due diligence to understand vulnerabilities and protect the business from them. The safety and resilience of this critical infrastructure are vital to the safety and well-being of society.

- network security. It is intended to protect against unauthorized intrusion into our internal networks due to malicious purposes. Network security keeps internal networks secure by protecting the infrastructure and denying access to it. Examples of implementing network security include additional logins, new passwords, anti-virus programs, controlled Internet access, and the like.

- cloud security. It is a software security tool that protects and controls the data in our cloud resources. Cloud service providers are constantly creating and implementing new security tools to help corporate users better protect their data.

- application security. It uses software and hardware methods to resist external threats that may arise at the stage of program development. Everything is much simpler here, since there is no particular influence on the whole society or state, but only on a single individual. To ensure this digital security, antivirus programs, encryption programs, and the like are used.

- Internet of Things (IoT) security. IoT can be classified as both critical and non-critical cyber-physical systems. It uses appliances, sensors, TVs, Wi-Fi routers, printers, and CCTV cameras. IoT devices often enter a vulnerable state and offer little

---

<sup>5</sup> Там само.



to no security fixes. This creates unique security challenges for all users<sup>6</sup>.

So, having discovered the essence of the basic concepts in the field of information and cybersecurity, let us move on to the guarantees of the latter as a factor of the information security of the state. It is important to note that implementing truly effective cybersecurity measures is a particularly challenging process today. After all, there are a lot of kinds of devices for cyber interaction, even more than people, and attackers are becoming more experienced, using innovative devices and methods.

If we turn to Article 6 of the Law of Ukraine «On Information», we discover that the state information policy (hereinafter – the SIP) is a set of directions and methods of the state's activities for obtaining, using, distributing, and storing information<sup>7</sup>.

Following Art. 22 of the Law of Ukraine «On the National Security of Ukraine», the State Service for Special Communications and Information Protection of Ukraine operates in our state. Among its functions, the following is also indicated: «...the formation and implementation of state policy in the areas of cyber protection of critical information infrastructure, state information resources, and information, the requirement for the protection of which is established by law, cryptographic and technical protection of information...».

In 2017 the President of Ukraine, by his own decree, approved the IS doctrine, which formulated the basic principles of protecting the country's information field from destructive propaganda of another state.

Also, the President of Ukraine in 2016 by his decree approved the Cybersecurity Strategy of Ukraine<sup>8</sup>. This document is aimed at creating truly safe cyberspace, as well as its use in the interests of citizens, society, and the country. The NSDC, whose decision, approved by the President, was dedicated to the Strategy, decided to strengthen its structure with a new special body - the aforementioned National Coordination Center for Cybersecurity (NCCC).

---

<sup>6</sup> <https://mind-core.com/blogs/cybersecurity/5-types-of-cyber-security/>

<sup>7</sup> Закон України № 2657-ХІІ від 02.10.1992 «Про інформацію» (редакція від 16.07.2020). Відомості Верховної Ради (ВВР), 1992, № 48, ст. 650.

<sup>8</sup> Указ Президента України № 96/2016 від 15.03.2016 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 січня 2016 року "Про Стратегію кібербезпеки України". Електронний доступ: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/96/2016#n11>

The document defines a list of state bodies that will be responsible for the implementation of measures to ensure national cybersecurity and harmonization of state policy in this area with the relevant standards of NATO and the European Union. These bodies are the Security Service of Ukraine, the Ministry of Defense, the State Service for Special Communications and Information Protection (State Service for Special Communications), the National Bank of Ukraine, the National Police, and intelligence agencies.

As priorities for creating safe cyberspace in our country, the Strategy noted the following:

- harmonization of Ukrainian cybersecurity regulations with EU and NATO standards, international norms, development of new national legal acts in this area;
- creation of special technologies in the field of digital security of mobile communications;
- formation and improvement of electronic communications infrastructure;
- creation of mechanisms for responding to emergencies in the computer industry;
- establishment and improvement of the IS state control system, independent audits of the IS system;
- establishment of ties and development of cooperation with other countries and international organizations in the relevant field and support of international initiatives that meet the national interests of our state.

The creation of a special unit of the Armed Forces with its further development in other state bodies can be considered an innovative measure proposed by the Strategy. To carry out this, this group will involve IT-specialists.

2017 became a landmark for the country's cybersecurity, when Law 2163-VIII «On the basic principles of ensuring the cybersecurity of Ukraine» was adopted (hereinafter – the Law). It is in effect from 09.05.2018.

This normative legal act defines the foundations for ensuring the protection of the national interests of our state in the digital space, sets the goals and directions of the policy in the field of cybersecurity, and the like. It should be noted that the law does

not apply to: social networks, private information web resources, to which, among other things, blogs are especially popular now (but there is a condition: such web services should not contain data, the need to protect which is established by law Ukraine).

The Law (in part 2 of article 4) directly states that the following objects are subject to cyber protection:

- objects of critical information infrastructure (the procedure for forming their list is approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine);
- communication systems of all forms of ownership, in which the processing of national resources is carried out, and which are used in the interests of state and law enforcement agencies, the army, and the like;
- communication systems in the areas of electronic document management and management, electronic commerce, and public services.

Ukrainian cybersecurity, according to Article 5 of the Law, will be ensured directly by the President as the guarantor of the Constitution through the NSDC (which is headed by the President), the NCCC as a working body of the NSDC; the National Bank of Ukraine, General Staff, Cabinet of Ministers of Ukraine and relevant ministries, National Police, local state administrations and local self-government bodies.

In the context of our research, let us draw your attention to the fact that it is the subjects of ensuring cybersecurity within their competence, in particular, who ensure the audit of information security, including at subordinate objects and objects that belong to their sphere of management (paragraph 5 of part 5 of article 5 Law).

Article 8 of the Law, in particular, notes that the functioning of the national cybersecurity system is ensured by:

23) restrictions on participation in measures to ensure information security and cybersecurity of any business entities under the control of the state recognized by the Supreme Council of Ukraine as the aggressor state, or states and persons in respect of which special economic and other restrictive measures (sanctions) are applied national or international level as a result of aggression against Ukraine, as well as restrictions

on the use of products, technologies and services of such entities to ensure technical and cryptographic protection of state information resources, strengthening state control in this area;

24) development of a system of counterintelligence cybersecurity, designed to prevent, timely identify, and counter external and internal threats to the security of Ukraine using cyberspace; elimination of the conditions that contribute to them, and the reasons for their occurrence;

25) conducting intelligence activities to identify and counter threats to the national security of Ukraine in cyberspace, identify other events and circumstances related to the sphere of cybersecurity.

The regulation of these measures by law legitimizes these measures in the context, in particular, of the admissibility of restrictions in the field of access to information, established by part 2 of Article 10 of the 1950 Convention of the Council of Europe for the Protection of Rights and Fundamental Freedoms.

To ensure a timely response to emergencies in the field of computer technology, a special government team CERT-UA is operating. powers include, among other things, maintaining the register of cyber events, assisting in the elimination of the consequences of cyberattacks, conducting training seminars, and lessons on the basics of cyber defense (Article 6 of the Law).

Summing up the results of this study, some conclusions can be drawn. First, the information sphere, as an important factor in social and public life, requires information security of society and the state, it is impossible without harmonization and improvement of the current regulatory framework to ensure proper protection of the interests of both the state as a whole and individual members of society. The national security of Ukraine is inextricably linked with the information security of the country, and in connection with the development of technologies, such a connection will increase even more.

## 2.4 Information security approaches of cyber physical systems

### ABSTRACT

We reviewed and analyzed models and methods of providing cyber-security in cyberphysical systems. The problems of ensuring the security of cyberphysical systems were considered. Methods for determining third-party interference in the operation of cyberphysical systems were analyzed, and ways to implement adaptive protection were considered. A number of scientific papers on the topic of determining the violation of the stationary state of digital systems were analyzed. The criteria for selecting methods to ensure the correct operation of cyber-physical systems were considered.

**Key words:** cyber-physical systems, fractal analysis, time series, Hurst exponent, scaling function, homeostasis, self-similarity.

**Introduction.** Digitalization and the all-round spreading of computer systems have gradually led to a change in the approach to production and the role of intelligent systems in human life.

Digitalization should be considered in the concept of Industry 4.0, which consists in the exponential development of information and telecommunications technologies, integration of complex automated systems in almost all industrial activities, economy, medicine, and energetics.

Protecting critical infrastructure has become an important issue for public administration in all countries. The high level of modern society development depends largely on a number of basic and important services, which are largely provided by private businesses, which, along with government regulation, contributes to the development of integration of digital technologies into critical infrastructure.

Critical infrastructure provides the normal operation of services and systems that are important for the development of the state and business:

- 1) government agencies;
- 2) water supply systems;
- 3) financial and tax systems;

- 4) medical systems;
- 5) energy systems and nuclear power plants;
- 6) transport systems;
- 7) large manufacturing enterprises, etc.

Violation of the security of critical infrastructure objects is becoming one of the main threats to modern distributed computer systems, the disruption of which leads to a threat to people's lives, the environment, economic losses of enterprises, and so on.

The purpose of this scientific article is to review and analyze models and methods for ensuring information security of cyberphysical systems in the context of rapid digitalization in order to more effectively eliminate possible losses in cyber attacks and prevent cyber attacks on critical infrastructure objects.

Critical infrastructure includes facilities, networks, services, and systems whose failure will in any case affect the health, safety, and well-being of the country's citizens.

The approach to ensuring the security of critical infrastructure objects, which include cyber-physical systems, is characterized by a combination of responsibility for the information security of these systems on the part of public authorities and private companies at the national and international levels.

A cyberphysical system (hereinafter referred to as a CPS) is a system that can effectively integrate intelligent and physical components through the active use of sensor, computing, and network technologies.

A typical conceptual scheme of a cyberphysical system includes:

- 1) a set of interconnected physical components that implement the technological process;
- 2) a set of interconnected information components that manage the process in different degrees of automation;
- 3) a communication environment that provides information exchange within the system with the environment and transmission of control commands through a programmable logic controller by an Executive mechanism [83].

The increase in the number of interferences into cyber-physical system of production processes running in critical infrastructure, a large amount of information

that comes from the thousands of devices that modern CPS are equipped with, and the issues of protection of such data on the physical and information levels, has created a need for new strategies adapted to detect modern threats to information security in these complex systems, without interference in the work of the infrastructure of intelligent systems.

In recent decades, the world has experienced incidents of security breaches to complex critical infrastructure, in which the failure of cyber-physical systems has threatened the health, safety and well-being of not only individuals, but also entire Nations. Currently, there have been about a hundred significant cyber attacks on infrastructure, and every year, according to research, their number is growing. The number of minor cases of data theft can reach several thousand per day [84].

### **1. Relevance of the issue of ensuring the security of cyberphysical systems**

Cyberphysical systems (CPS) integrate physical and intellectual components during performing certain production processes. Given the increase in the number of cyber-physical systems in all critical infrastructure sectors, as indicated in the introduction, the increase in the possibility of harmful effects on such systems by physical or information attacks on its components, the question arises of reviewing the subject area of information security of such systems and the relevance of research in this subject area.

Modern attacks on cyberphysical systems occur simultaneously on several levels- from illegal interference in system components at the physical level, to exploitation of information vulnerabilities at the level of a computer network and sensors for monitoring the operation of cyberphysical systems. At the same time, the attacks themselves become complex, multi-step and time-stretched, and also take into account the features of the system and its infrastructure.

In order to detect such attacks in a timely manner, security systems need to jointly analyze information coming from a variety of heterogeneous sources, both physical and cybernetic. This raises the question of developing a method for determining attacks on cyberphysical systems that would be invariant to the types of attacks, types of cyberphysical systems, strategies for security violations used by attackers, and

determines the relevance of research on the issues of ensuring information security of cyberphysical systems [86].

Illustrative examples of the consequences of security breaches of cyber physical systems include:

1) Salt River Project incident in 1994, in which attacker lane Jarrett Davis broke into the Salt River network by violating monitoring data for water and electricity supply. It gained access to data of those responsible for monitoring and delivering water and electricity to consumers, as well as records of customers, financial and human resources services. According to the investigation, Davis had access to the SCADA system to manage system parameters for at least 5 hours, as well as access to customer records, financial and human resources services. It is estimated that they suffered losses of \$40,000 us dollars, excluding collateral losses from system downtime [88].

2) the 2000 Maroochy Water System Incident, in which a former employee of the Maroochy Water System (Australia) disrupted critical water infrastructure, causing millions of liters of wastewater to flow into a nearby local river, pollution and flooding of a local hotel.

3) cyber attack on Stuxnet. In 2008, one of the most famous cases of cyber attacks on critical infrastructure in history took place: Stuxnet. It is now known that this was a coordinated attack by the Israeli security services aimed at disrupting Iran's nuclear program. The virus software created disrupted the operation of the uranium centrifuges at the Iranian plant in Natanz, causing them to run at full speed, while the engineers on their monitors observed normal operation. This caused physical damage to all the uranium centrifuges at the plant. After this incident, the General public became aware of such threats [88].

The above-mentioned incidents of security violations of critical infrastructure systems determine the urgency of developing a method for protecting cyber-physical systems that is universal to the types of systems themselves, and invariant to the strategies of attacks on these intelligent systems.



## **2. Problems of ensuring the security of cyber-physical systems**

Based on an analytical review of the work of researchers I. V. Kotenko, E. Yu. Pavlenko, and research data on real cyber attacks [88], the following problems of ensuring information security of cyberphysical systems are established:

1) The Problem of creating a method for detecting violations of information security (hereinafter IS) of cyber systems, which provides invariance to the type of attacks and the method of their implementation. Currently, to identify various types of destructive effects on the CPS, a large set of methods for detecting violations of information security is being implemented simultaneously, which requires significant time and computational costs. The complexity and scale of cyber-physical systems make it difficult to solve the problem of detecting is violations, since each component of the CPS that can be accessed via the Internet represents a potential entry point for an attacker due to the vulnerabilities of the physical components themselves.

2) The Problem of creating a method that is resistant to the number of attacks. The more complex the system is, the greater the number of possible attack vectors and ways to implement their attacks. As noted above, the integration of CPS with industry and critical industries makes such CPS a desirable target for malicious attacks, and the development of a method for detecting violations of the CPS becomes a topical issue today.

3) The Problem of detecting modern virus software aimed at disrupting the operation of the CPS of any configuration. Existing methods of ensuring information security often cannot be applied to all types of CPS. Not always the structure of the CPS can be interpreted by the developed software protection tool.

Thus, by analyzing approaches to solving the above problems, it is possible to improve existing methods of protecting cyber-physical systems.

## **3. Models and methods for determining violations of cyberphysical systems**

The process of detecting security violations of complex cyberphysical systems in various implementations involves processing a large number of input parameters, which is due to the scale of such cyberphysical systems and analysis of the operation spectra of such systems at the physical or informational levels.

Methods for detecting attacks on cyber-physical systems often involve processing time series and large amounts of data. Next, let's look at examples of research on the topic of identifying threats to cyberphysical systems.

1) in the work "an Integrated approach to ensuring the security of cyber-physical systems based on microcontrollers" by the author I. V. Kotenko, methods for ensuring information security based on the use of microcontrollers are presented, but the universality of the method to the types of attacks and types of cyber-physical systems themselves is not proved. There are few references to the study of such methods in practice, and there are no comparisons of this method with its competitors.

2) in the work "Ensuring information security of cyberphysical systems based on the principle of homeostasis" by the author E. Y. Pavlenko, a method for determining attacks on cyberphysical systems based on multifractal analysis is considered. This method of determining violations of digital systems has proven itself in determining cyber threats, and is used in practice. The considered principle of self-similarity estimation based on multifractal analysis, which is used to analyze interference in the work of cybercritical systems, is well studied in the works of domestic and foreign authors, I. V. Melnik, L. A. Kirichenko, A. I. Shelukhina, and others.. This method is invariant to the types of attacks, structures of cyber-physical systems, easy to formalize, but the above works do not offer a study of deviations in the input parameters of the method for statistical significance and general evaluation of the result of determining the attack on cyber-physical systems [89].

3) in the work on topic of detection of attacks on cyberphysical systems based on deep learning, author L. V. Sukhostat demonstrates the advantages of applying deep neural network methods to the process of recognizing attacks on cyberphysical systems. As the variability of attacks increases, we proposed training networks based on seven types of attacks. The proposed method enabled to detect security breaches cyber-physical systems with an accuracy of up to 90%, which is the best result then the convolutional neural network, the results of which are also given in the work, however, the described method does not meet the requirements of variability cyber-physical systems themselves, requires a lot of time to retrain the neural network and is prone to

recognition errors when a large number of criteria of recognition, and therefore needs to be improved [86–89].

In the work of the author L. V. Sukhostat, on the topic of determining cyber attacks on cyberphysical systems based on deep neural networks, an approach is proposed to identify security violations of the CPS based on a variational autoencoder (VAE) and a one-dimensional deep "residual" neural network.

The VAE used in [89] is a type of autoencoder that consists of an encoder and a decoder. The encoder is used to evaluate hidden variables from a set of observation variables, and the decoder recovers observation variables from hidden variables.

It is assumed that  $x$  - vector of observation variables,  $z$  - hidden vector, a  $\phi$  i  $\theta$  - sets of encoder and decoder parameters, respectively. The observation vector  $x$  is entered into the encoder, which outputs a mathematical expectation  $\mu_\phi(x)$  and variance  $\sigma_\phi^2(x)$  used for sampling a hidden vector  $z$ .

Neural network learning gradients are calculated based on  $p_\theta(x)$

$Z$  is sampled after performing the Gauss distribution for  $\mu_\phi(x)$  and  $\sigma_\phi^2(x)$ :

$$p_\theta(x) = \int p_\theta(z)p_\theta(x|z)dz, \quad (1)$$

The approach proposed in [91] includes the following steps:

- 1) Getting data for training and evaluating the effectiveness of the model.
- 2) Pre-processing of data. Extracting features based on an encoder from a VAE consisting of fully connected layers (Dense) (Fig. 1).
- 3) Building a one-dimensional ResNet (1D ResNet) to detect cyber attacks. The network is offered to consist of 25 layers. It includes convolutional and maxpooling layers.
- 4) Training the resulting model to find the optimal solution.
- 5) Evaluation of the resulting model on the test data set.

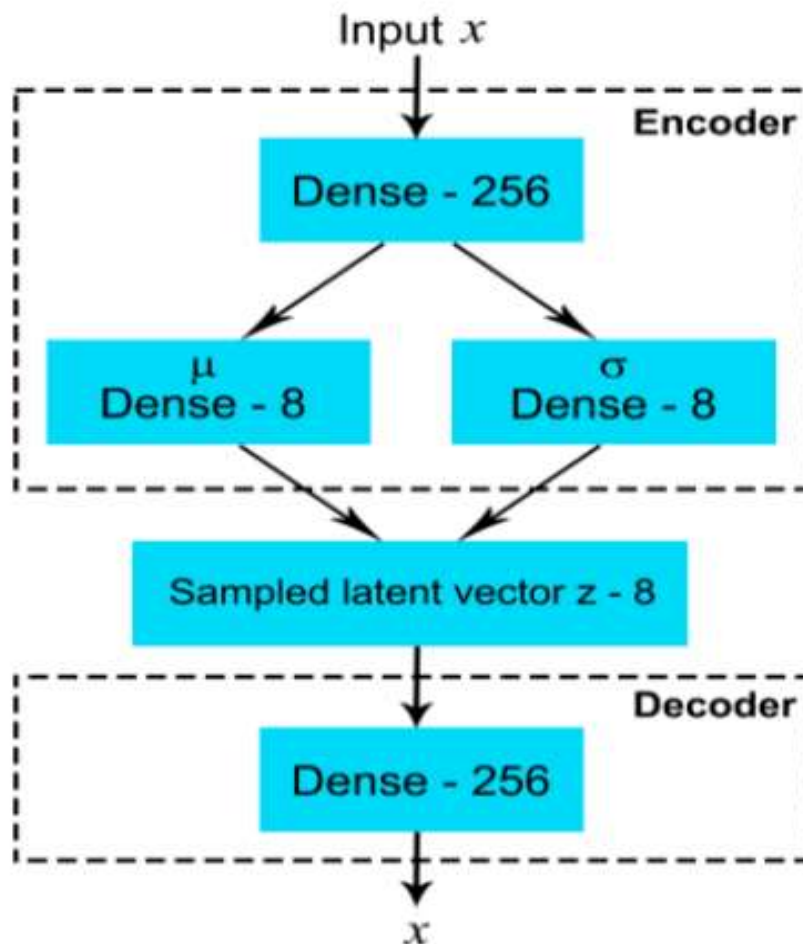


Figure 1. Scheme of variation encoder method [90]

The proposed method was tested on a database of data collected from the gas pipeline infrastructure system of the USA state of Mississippi. The network traffic data log file was taken from the SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) system for the gas pipeline system laboratory bench, which stored data on both the normal operation of the system and the actual cyberattacks.

According to the results of the experiment given by the author L. V. Sukhostat [90], the combination of an autoencoder and a deep learning network showed better results in detecting attacks than the method of logistic regression and the method of detecting attacks based on convolutional neural networks. The training accuracy of the proposed method reached 68.5%, which is a high indicator due to the variability of attack classes.

The method recognized 7 separate subclasses of attacks and the normal state of the system, unlike other methods.

However, the method described above does not take into account the heterogeneity of the input parameters, there is no analysis of the applicability of the method for a larger number of attacks, and the complexity of training the method with a large number of variations in the input training criteria is noted. So, the method proposed in the work of the author L. V. Sukhostat has disadvantages in solving the complex problem of determining attacks on cyberphysical systems, because of which this method is not chosen as a priority for performing the tasks of this scientific research.

In the dissertation work of the author E. Y. Pavlenko, on the subject of ensuring information security of cyberphysical systems, a method for providing information security of the CPS based on the principle of homeostasis is proposed [91].

It is noted that the CPS is a closed system that implements a certain target function (for example, the function of automatic water purification, implemented in several interrelated stages). The presence of the target function of the system determines the frequency of processes occurring in it.

Implemented CPS processes are periodic, so it is concluded that the data streams generated by the CPS devices, such as sensors of environmental parameters, represent periodic time series with the property of self-similarity which is proved in the works of a number of domestic and foreign authors (I. V. Melnik, A. I. Sheluhin, etc.). It is therefore proposed that assessment of self-similarity of these time series, allowing to draw a conclusion about correctness of system operation or disturbances in her work,

Based on the results of the analysis of the works of E. Y. Pavlenko, I. V. Melnik, and L. A. Kirichenko, the following methods for evaluating self-similarity were determined:

#### Fractal methods

Fractal methods include the calculation of the Hurst exponent index –  $H$ . This parameter indicates the degree of self-similarity of the process. The value of the  $H$  parameter is close to one, indicating the fractal properties of the process. The Hurst exponent index is calculated using  $R / S$  statistics (the so-called normalized span

statistics). In this case, the span of the series –  $R$ , and the standard deviation  $S$ , are calculated, according to formula 2 and 3 correspondently.

$$R = \min_{1 \leq u \leq N} \sum_{i=1}^u (x_i - X_{cp}) - \min_{1 \leq u \leq N} \sum_{i=1}^u (x_i - X_{avg}), \quad R = \min_{1 \leq u \leq N} \sum_{i=1}^u (x_i - X_{cp}) - \min_{1 \leq u \leq N} \sum_{i=1}^u (x_i - X_{cp}) \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^u (x_i - X_{avg})^2}, \quad (3)$$

where  $X_{avg}$  is the arithmetic mean of a series of observations over  $N$  periods.

The Hurst exponent  $H$  index can be calculated using the formula 4:

$$H = \log \frac{R/S}{\log(\alpha N)}, \quad (4)$$

where  $\alpha$  is a given constant,  $\alpha > 0$ .

The use of the Hurst exponent to evaluate the self-similarity of data generated by the CFS components is described in [91].

A low  $H$  indicates the absence of the self-similarity property, and as a result-the presence of a cyberattack.

Hölder condition index. This index is also used to determine self-similarity as a fractal property of processes, taking into account that the subprocess has the properties of the process as a whole and changes in the structure of the subprocess operation affect the change in the operation of the whole process.

Multifractal Legendre spectrum and the Hölder condition reflect the multifractal properties, which changes allow you to track changes in the properties of the process flow over time, such as a malfunction caused by outside interference in the system [91].

Graphically, the multifractal process is displayed as the Legendre multifractal spectrum (Fig. 2).

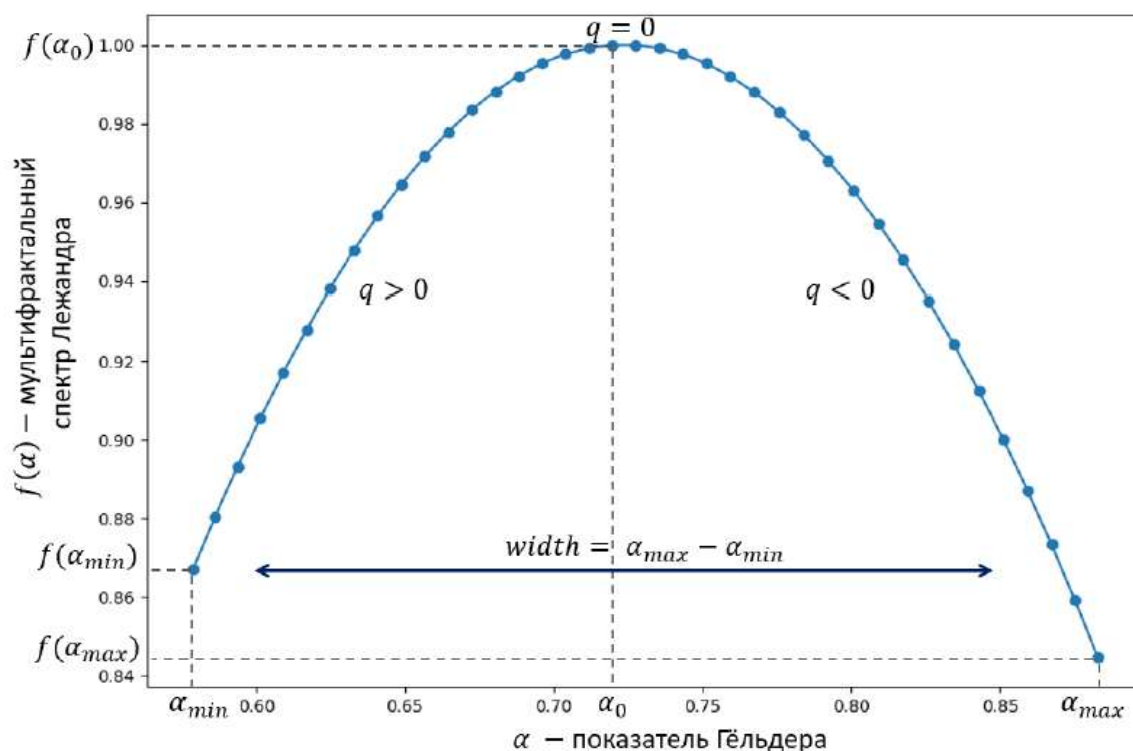


Figure 2. Self-similarity Helder index graph [91]

The left part of the spectrum corresponds to sections of the time series with global (significant) deviations, and the right—with local (insignificant) deviations [91].

Monitoring changes in the multifractal properties of the process under study will reveal violations in its stationary operation, which may be caused by a cyber attack on the CFS and its components.

Changes in multifractal properties may occur with changes in the following spectrum parameters:

- 1) spectrum Widths:  $width_{right} = \alpha_{max} - \alpha_0$ ;
- 2) the height of its right and left branches:  $height_{left} = f(\alpha_0) - f(\alpha_{min})$  and  $height_{right} = f(\alpha_{0max}) - f(\alpha_0)$ .

The spectrum width metric has previously been used to detect network attacks and is well-established for detecting attacks on the CPS. However, the number of metrics for this method can be increased to achieve greater invariance to the types of cyber attacks on the CPS.

**Spectral methods.** This class of methods can be used to analyze processes represented by time series with long-term time dependence.

To assess whether a given process is long-term dependent in the spectral region, the concept of spectral density is used. Then a weakly stationary time series has a long-term dependence when condition 5 is satisfied:

$$f(\lambda) \sim C_f |\lambda|^{-\beta}, \lambda \rightarrow 0, \quad (5)$$

Spectral density  $f(\lambda)$ , calculated using the formula 6.

$$f(\lambda) = \frac{\sigma^2}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} p(k) e^{ik\lambda}. \quad (6)$$

The spectral density allows us to reflect the relationship of processes with long-term dependence and self-similar processes.

The method of determining the processes self-similarity of cyberphysical processes described in Pavlenko E. Y. PhD work. This method of determination processes self-similarity is well studied in the works of domestic authors [91], versatile to types of cyber-physical systems, invariant to the number of attacks and has worked well in practice definitions of cyber-attacks. However, the method has disadvantages due to the lack of analysis of the effects of variations in input parameters and analysis of the permissible limits of deviations of input parameters.

The method of fractal analysis is proposed as the basis for the developed method for determining security violations of cyberphysical systems. Based on this method, it is planned to create an improved approach to ensuring information security of the CPS, based on a more detailed analysis of time series to identify deviations in the system's operation caused by natural factors. Such an analysis will improve the accuracy of determining the system's inadequate performance in the event of a cyber attack on it, and make an analysis of the criteria that had a significant impact on the system's normal operation.



The research of the authors L. A. Kirichenko, E. Y. Pavlenko, and I. V. Melnik substantiates the requirements of the method's universality to the types of CPS itself, and the method's stability to large arrays of input parameters for effective analysis.

Summing up the above requirements for the method of detecting violations of cyber-physical systems in the conditions of improving attack strategies on such systems, increasing the number of physical and information channels of intrusion into the system infrastructure, the method of assessing the information security of cyber systems based on the self-similarity of its functioning parameters should have the following properties:

- 1) Independence from the types of destructive actions.
- 2) Universality. The approach should be applied to any type of CFS and data of any nature.
- 3) The ability to be integrated with CPS, without the need for adaptation to the identification of specific types of attacks.
- 4) Ease in use. The method should not be difficult to implement, need a small capital investment in the functioning of the cyber-physical system.

Based on a set of qualitative criteria for evaluating methods that were determined based on the analysis of scientific papers on the protection of cyberphysical systems, the choice of fractal methods for analyzing the self-similarity of CPS processes as an effective tool of detecting violations of their work was justified. Fractal methods have criteria for ease of implementation, universality to types of cyber-physical systems, and invariance to types of attacks.

When multi-fractal analysis of the self-similarity of processes based on the Hurst exponent, the process is considered as self-similar, with a calculated coefficient of  $0.5 < H < 1$ , (the series demonstrates persistent (trending) behavior). If  $H = 0.5$  it concludes that the self-similarity property of the process has lost [92].

detailed algorithm for calculating the Hurst exponent is given below:

- 1) a matrix of read values of physical system sensors is formed.
- 2) since the random process is not stationary, the values of the mathematical expectation and the mean square deviation are calculated for the entire sample:

$$M_N = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N X_k, S_N = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N (X_k - M)^2} \quad (7)$$

3) the integral deviation is determined by the known value of the mathematical expectation:

$$D_j = \sum_{k=1}^j X_k - j \cdot M, j = 1 \dots N. \quad (8)$$

4) the value of the integral deviation determines the variability parameter of the random process  $R_N$ , which depends on the number of sample elements  $N$ :

$$R_N = \max_{1 < j < N} (D_j) - \min_{1 < j < N} (D_j), \quad (9)$$

5) Next, for a long-term dependency, the Hurst exponent  $H$  is defined.

$$H = \frac{\ln \left( \frac{R}{S} \right)}{\ln \left( \frac{N}{2} \right)}, \quad (10)$$

Analyzing the  $H$  value, it concludes that the time series of processes are self-similar.

On the basis of this mathematical apparatus, we propose an analysis of the time series of parameters of the CPS for self-similarity, to determine the attack on the CPS.

An improvement of this method should be the analysis of acceptable deviations of input parameters  $X_k \pm \varepsilon$ . The occurrence of these deviations to the reliability intervals justified by statistical criteria of the results of processing large time series data, which is the result of natural factors (not attacks on the CPS), what will be an innovation in the field of determining violations of the CPS, and the use of the Helder indicator to more accurately identify violations of information security of cyber-physical systems.

A good example of definition of Hurst exponent  $h(q)$  are the time series of the human sleep state (deep sleep, fast sleep, and wakefulness) [92] are shown in Fig. 3.

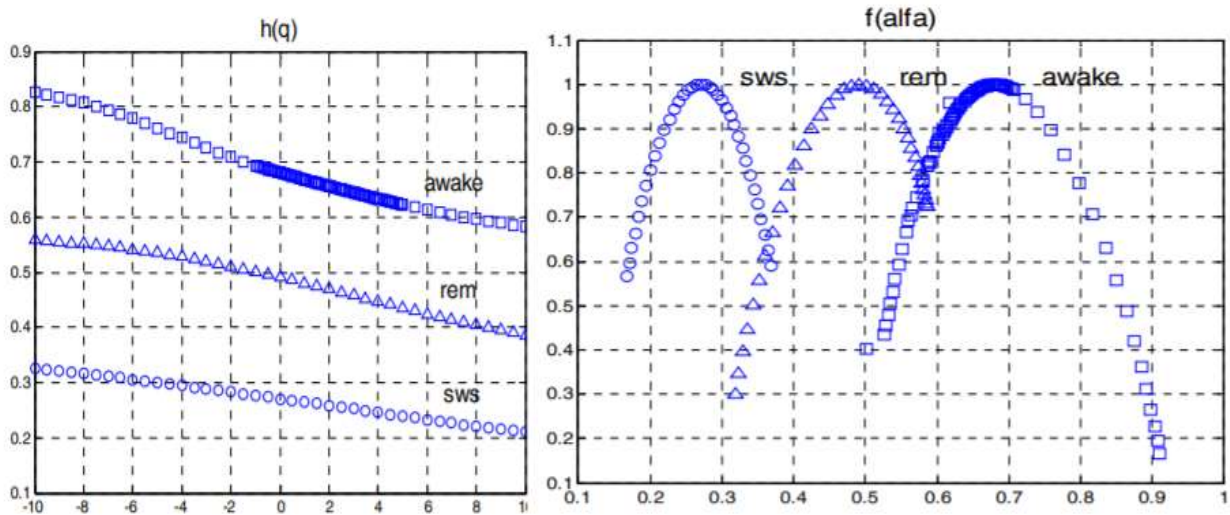


Figure 3. Changes of self-similarity features due to system state differences

When the parameters of the system state change, the Hurst exponent function and Helder indicator function shifts, the multifractal spectrum shifts, the width of the spectrum branches changes, and the minimum and maximum values of  $\alpha$  is changed, which is proposed to be used as a criterion for violations of the normal operation of cyberphysical systems.

**Conclusion.** The statistics of cyber attacks on industrial cyber systems and the close interaction of the processes that occur in them with human activity make the issues of violation of the security of the CPS critical from the point of view of economic aspects, issues of ensuring the safety of human life, threats to the environment.

Currently, the issues of ensuring the information security of the CPS are characterized by such problems as:

- 1) The Problem of creating a method for detecting violations of information security of the CPS, which provides invariance to the type of attacks and the method of their implementation.
- 2) The Problem of creating a method that is resistant to the number of attacks.
- 3) The Problem of detecting modern virus software aimed at disrupting the operation of the CPS of any configuration [91, 92].

The aim of the further research considering the above-described problems and security objectives of CPS, is the analysis of models and methods of information security CPS, independent to attack types and the CPS types themselves, development of methodology to support functional stability of CPS after the implementation of cyber attacks.

## 2.5 The principle of hiding data in jpeg format

Currently, there is a great variety of steganographic algorithms. Methods of computer steganography are divided into three main groups (Fig. 1):

1. Concealment methods based on the use of special properties of computer formats.
2. Methods of concealment in the spatial area.
3. Methods of concealment in the frequency domain.

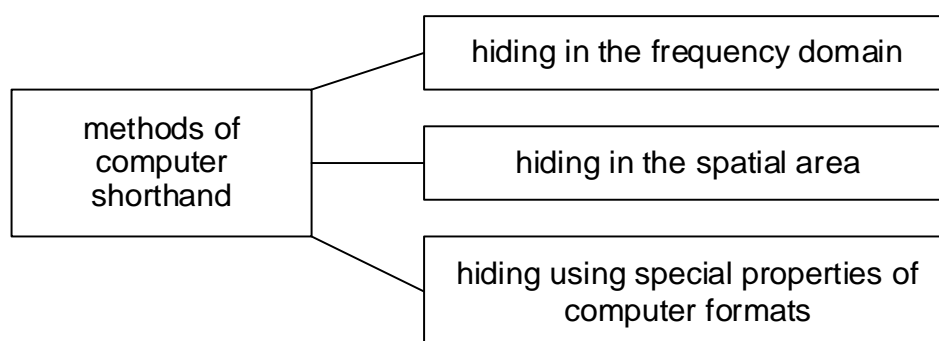


Figure 1. Groups of computer steganography methods.

The advantage of the 1st group methods is the ease of use. Extension fields are available in many multimedia formats, they are filled with zero information and are not taken into account by the program [93-94]. But such methods provide a low degree of secrecy and poor performance. The amount of data transmitted is quite limited.

The methods of the 2nd group are based on the establishment of hidden data in the area of the primary image. The advantage of such methods is that complex mathematical operations and long image transformations are not required for embedding information [96].

An example of the implementation of such an approach is the LSB (Least Significant Bit) method, the most common among the replacement methods in the spatial domain. The essence of this method is to replace the last significant bits in the container (image, audio or video) with bits of the hidden message. The difference between empty and filled containers should not be noticeable to human organs. The disadvantage of the LSB method is its instability to the processing of the container file, which makes it impossible to use it in hiding data in the file, which is then subject to compression [95].

Based on the above, it can be concluded that neither methods based on the use of special properties of file formats, nor methods that work in the spatial area of the file, can not be used to develop a hiding algorithm in JPEG format. Therefore, it is necessary to consider and analyze the method of hiding in the frequency domain of the container.

Intended for use in electronic media, non-animated halftone and full-color photos are usually stored in digital PNG and JPEG formats. The advantages of these formats include cross-platform, the ability to process in almost all graphic editors, good image quality. JPEG images are smaller than similar ones saved in PNG format due to their lossy compression capability. Therefore, the use of JPEG format for saving and transmitting images is preferable [97].

The stage of channel thinning is optional, in the developed algorithm it is skipped. The transition from RGB system to YCrCb system is carried out according to the following relations:

$$Y = 0 + 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

$$Cb = 128 - 0.168736 \cdot R - 0.331264 \cdot G + 0.5 \cdot B$$

$$Cr = 128 + 0.5 \cdot R - 0.418688 \cdot G - 0.081312 \cdot B$$

Discrete-cosine block transformation is performed according to the following formula:

$$DCT(u, v) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) \cos \frac{\pi(2x+1)u}{2N} \cos \frac{\pi(2y+1)v}{2M}$$

$$u = 0, 1, \dots, N-1; v = 0, 1, \dots, M-1$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, u = 0; \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, else \end{cases}$$

The process of compressing a JPEG still image is shown in Figure 2.

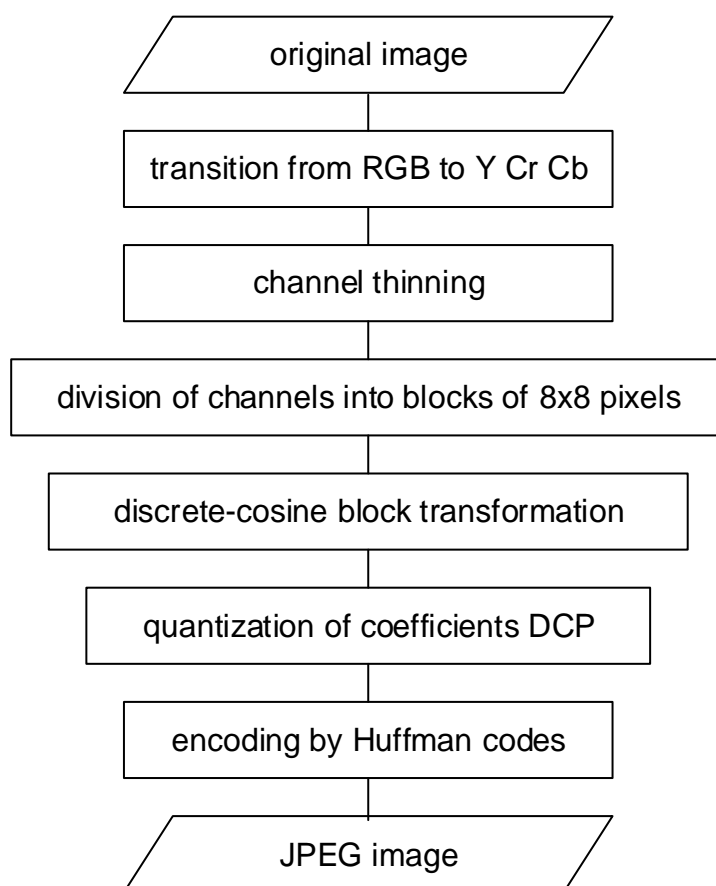


Figure 2. JPEG image compression process

The quantization process plays a key role in JPEG compression. It is a process that removes the high frequencies presented in the original document – followed by high detail. This is because the eye is more sensitive to low frequencies than to high frequencies. In this way, high frequencies can be removed with little visual loss. This is done by dividing the amplitudes of the high-frequency components into larger values than the values into which the lower-frequency components are divided. Quantization is simply the division of the working matrix into a quantization matrix element by element. For each component (Y, Cr and Cb), in the General case, a quantization matrix is given. The quantization matrices for the brightness component and the color component are set by the JPEG standard for a compression ratio of 50%. For an arbitrary quality factor, each element of the quantization matrices must be transformed according to the following relations:

$$\left\{ \begin{array}{l} q = \frac{(100-K)}{50}, \text{ else } K \geq 50 \\ q = \frac{50}{K}, \text{ else } K < 50 \end{array} \right.$$

Embedding the message in the coefficients of the CEV (digital watermarks) will be carried out after the quantization step. Because the change in the color component of the pixel is less noticeable to the human perception, the message will be hidden in the color channels of the image (Cr and Cb).

As mentioned earlier, steganographic methods of hiding data in special fields of file formats and in the spatial area of the image are unstable to various types of distortion, in particular to compression. More resistant to distortion, including compression, are methods that use the frequency domain of the container to hide information because they work with already converted data channels.

There are several ways to represent an image in the frequency domain. This uses a certain decomposition of the image used as a container. For example, there are methods based on discrete cosine transform (DCP), discrete Fourier transform (DFT), wavelet transform, Karunen-Loev transform, and so on. Such transformations can be applied both to individual parts of the image and to the image as a whole [98, 99].

The most widespread among all orthogonal transformations in steganography were wavelet transforms and DCT. This is due to the significant prevalence of their use in image compression. In addition, to hide the data, it is advisable to use exactly the transformation of the container to which it will be subjected to possible compression. For example, the DCT algorithm is basic in the JPEG standard, and the wavelet transform is basic in the JPEG2000 standard.

One of the most well-known steganographic methods is the Koch method and the Zhao method of relative substitution of the values of discrete-cosine transformation coefficients (DCC) [101]. In this algorithm, the introduction of watermark bits into image blocks of  $8 \times 8$  pixels (1 bit per block). Both a monochrome image and a sequence  $\{0,1\}$  consisting of any number of numbers can be used as a message [100].

Another common steganographic method is the Friedrich method. In contrast to the previous Koch and Zhao algorithm, in which DCT is performed in blocks, in Friedrich's algorithm DCT occurs for the entire image to be protected. The hidden message is the sequence  $\{-1, 1\}$  [101-103]. According to the algorithm, the data is



embedded in the image in two different ways, depending on which DCT coefficients are hidden – in medium-frequency or low-frequency.

## **2.6 Analysis of positive experience of effective application of distance learning technologies by higher education institutions of Ukraine during the coronavirus epidemic COVID-19**

Powerful challenges to all humanity in the form of epidemics (coronary infection COVID-19, bird flu, various forms of pneumatic and hepatitis), natural and man-made disasters, military and political conflicts - on the one hand and global informatization of modern society, development of telecommunication, communicar and information technologies - from the second, determine significant changes in priority forms of educational process, and distance learning (DL), in these conditions, becomes the only possible option for providing quality educational services with minimal financial expenses for its organization.

The Ministry of Education and Science Ukraine for Spring 2020 recommended that remote communications by participants of the educational process through the means of communication tools built into the learning management systems (LMS) such as MOODLE, Google Suite for Education, MS Office 365, etc.; e-mail, messengers (Viber, Telegram, etc.); video conferences (MS Teams, ZOOM, Google Meet, Skype, etc.); forums, chats, etc. In this regard, the leading educational institutions of Ukraine, such as KNAFU, NURE, NTU(KPI) successfully use during the implementation of DLsuch LMSs as MOODLE, free applications of Google Suite for Education, MS Office 365, own DL-systems (DLS) and their combinations, and KhNURE for the first time since its existence, in the summer of 2020, provided protection bachelor's and master's qualification works remotely!

Wide opportunities for modern information technologies for the creation of simulation models of objects and processes (flash-animation, 3-D models, etc.), allow visualization of information and to make the content of the distance course with the most understandable user. Unique to the educational process in quarantine was an option of a training video content, created at the Department of Biomedical Engineering NURE, which is intended for laboratory works on technical disciplines, where complicated hardware is used. Founded such content on the use of modern video

technologies with the presence effect, which allows the user during the passage of such a remote lesson to face with the maximum possible level of visibility and reality when working on complex equipment with macro- and micro-examination, demonstration of various devices separately from each other or all together. Panoramic videos, which lies at the heart of this content, gives the opportunity to find a distance learning, have a field of view not an operator that relieves a educational or computer class, a study audience or a laboratory, but in fact. The content on the use of modern video technologies with the presence effect is an association of the latest technologies and explanations with chalk on a classboard board. This is a true effect of presence in the audience, where there is a teacher demonstrating and explains the principles of operation of equipment, and students in their work in virtual space!

Systems of distance learning of the Supreme military educational institutions of the Armed Forces of Ukraine are part of the education system of Ukraine, in which the DL is based on the didactic, methodological, organizational and informational principles and, taking into account the confidential nature of the information content of most educational disciplines, uses for communication of the Intranet type network, which have functionality of the Internet is for internal use only.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University (KNAFU) is conducting research on improving the effectiveness of training and assessment of the its personnel, based on the use of innovative information technologies, organization and implementation of distance learning (DL) [104- 106].

At present, the main information technologies for automation of learning and realization of its distance form which were developed and/or implemented in KNAFU with the purpose of effective specialists training increase are: the informational and educational environment «DIALOG»; the universal system for the development and conducting of computer tests; the complex of designing the academic schedule «CASCAD». In addition, the learning process successfully uses the distance learning system with the open source code - MOODLE [104-113].

As a result of conducting research on increasing the effectiveness of combat training through the use of distance learning technologies, the informational and

educational environment «DIALOG» has been developed, which allows: to plan training by distributing subjects by type of training; to study as a group according to the subjects for which they are studying; organize classes in accordance with the requirements of the orders of the Ministry of Defense Ukraine regarding the training of military specialists; to carry out automated control of testing of those who learn with automatic fixing of time and results of passing tests; control the process of learning by the average score for the group, the course through the system of statistical data generation (Fig. 1) [105, 106].

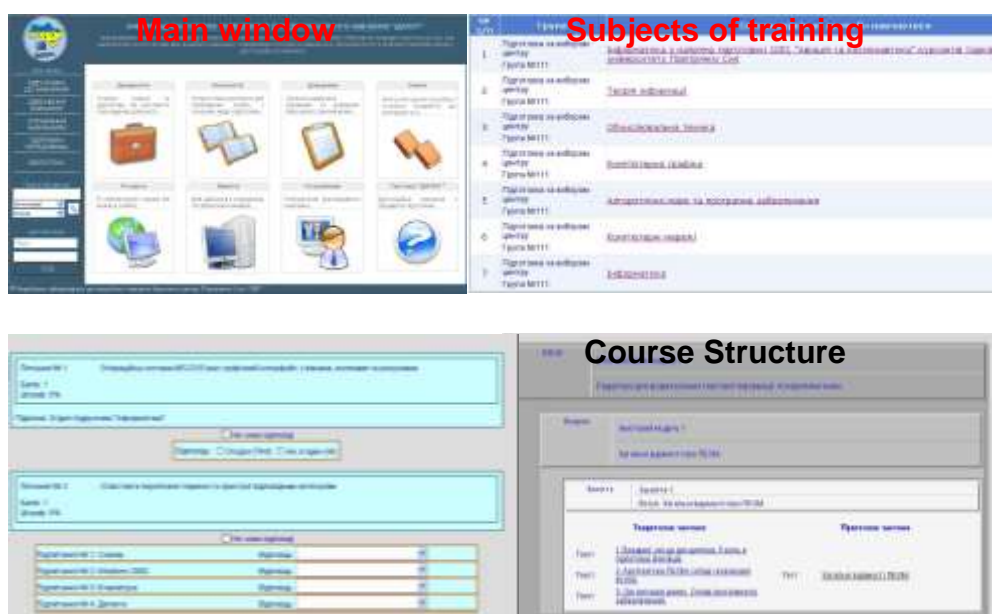


Figure 1. The specialized informational and educational environment «DIALOG» for distance learning

The universal system for the development and conducting of computer tests has been developed and implemented. The developed software application allows to solve the following tasks: locally, on separate PCs, to develop computer tests and conduct testing and self-control of those who study; choose the types of answers to questions (with one correct answer, with a few correct answers, with a response in the form of a record); divide the questions by category and type of answers and give the corresponding number of points for the correct answer; to randomly distribute questions by categories; use as a matter of a variety of document fragments (graphic, formulas, etc.) from other programs (MS Word, MS Excel, etc.); enter type of time

limit and time limit; to pass the test and return to the questions; at the end of the test, analyze the responses (Figure 2) [106-110].

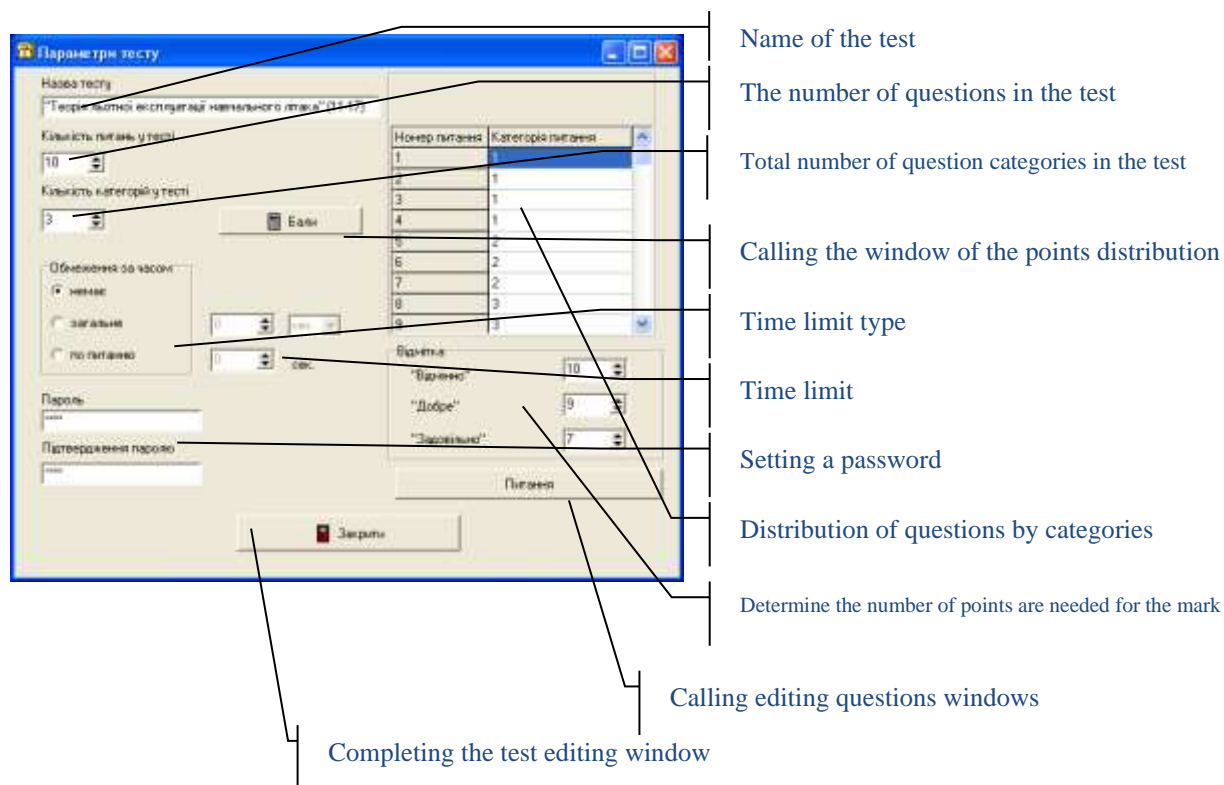


Figure 2. The window for creating (editing) the test parameters of a universal system for developing and conducting computer tests

Also, the MOODLE (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment), a modular object-oriented learning environment, also known as a learning management system or a virtual learning environment, is deployed and used by the KNAFU (Figure 3). To ensure work, it can be installed on a web server on its own computer or hosting company (Figure 4) [104, 105].

The main advantages of the software systems developed and actively used at the KNAFU and responsible for assessing knowledge («DIALOG», the universal system for the development and conducting of computer tests, MOODLE) are: automation of knowledge control processes for those learning; exclusion of "human factor", impartiality of evaluation; automatic fixing of test results; automatic statistical processing of test results and the formation of accounting records for personnel training [104-113].

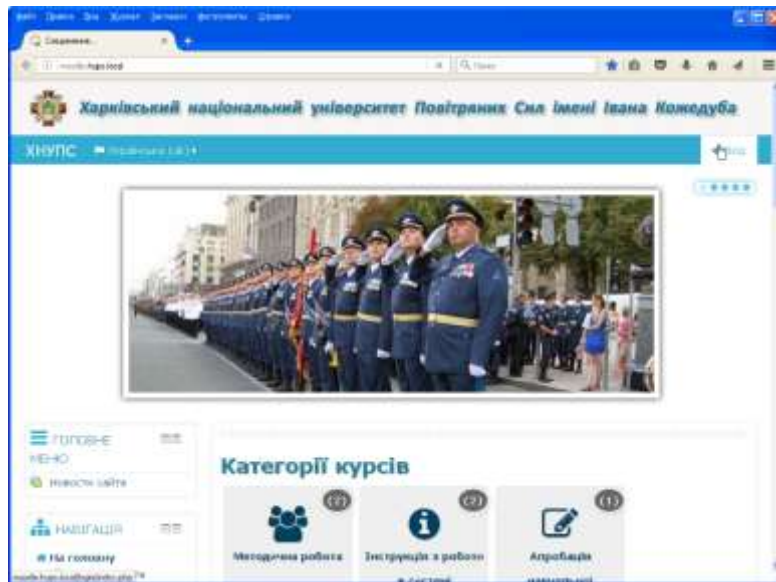


Figure 3. The system MOODLE, deployed on the server of the university



Figure 4. The system MOODLE scheme of work

The developed program complex of the automated system of designing the lessons schedule is deployed at the work places of the educational departments of the faculties and the department of the university and is successfully used during the planning of the educational process at the university (Figure 5) [111-113].

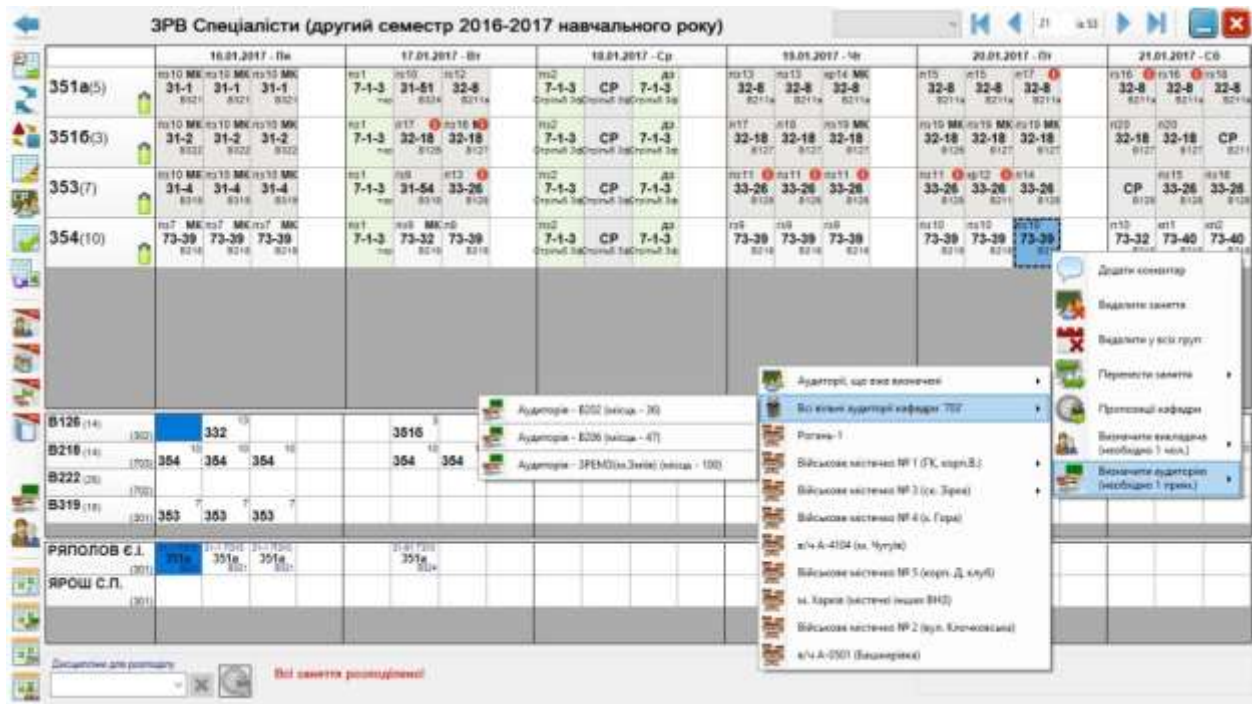


Figure 5. User interface program complex of automated system of designing the lessons schedule «CASCAD»

The main advantages of the software complex «CASCAD» are: it is an unique software product, created at the university, which fully corresponds to the content of all stages of the planning of training sessions for the semester; automatic control of the formation lessons schedule according to the defined criterias of the quality of the lessons planning; automatic fixing of all user actions to change data; automated formation of reporting (statistical) documents for the planned learning process.

Thus, it is necessary to mark that existing on current time in KNAFU a educational-methodical base, hardware software and highly skilled scientifically-pedagogical composition of university, allow with a complete confidence to talk that educational establishment, from the point of view of automation and application in the educational process of modern information technologies fully prepare to integration in educational space of European Union and NATO countries, and the global problem related to the submission of the COVID-19 coronal infection, only accelerates the pace of development and implementation of new information technologies for the implementation of high-quality distance learning, both in higher educational establishments, and Supreme military educational institutions, and university partner-countries of Ukraine.

## **2.7 Improving accuracy of recommender systems based on collaborative filtering algorithm item-to-item**

**Abstract.** In this article we consider the features of recommender systems based on the collaborative filtering algorithm item-to-item. The description of recommender systems is made and the direction of scientific work is substantiated. The disadvantages of user-to-user recommender systems in comparison with item-to-item recommender systems are described. The platform for experiments was chosen - the site for car sale ads searching in Ukraine Automoto.ua, since there's enough data for making representative research in experiments, according to scientific research. The method of improving the accuracy of the algorithm based on the cosine measure in comparison with the user-to-user algorithm is determined. The list of experiments and actions with the web-platform on which the scientific experiment was carried out is given. A reasonable conclusion has been made on improving the accuracy of the recommender system "Others also search with this car" based on the algorithm of collaborative filtering item-to-item.

### **Introductions**

A recommender system is a subclass of information filtering system that typically seeks to predict the "rating" or "preferences" a user would give to an item. They are primarily used in commercial programs [116].

Recommender systems are utilized in a variety of areas and are most commonly recognized as playlist generators for video and music services, such as Netflix, YouTube and Spotify, product recommenders such as Amazon, or content recommenders for social media platforms such as Facebook and Twitter. These systems can operate using a single input, like music, or multiple inputs within and across platforms like news, books, and search queries. Recommender systems have also been developed to explore research articles and experts, collaborators, and financial services. Recommender systems are also widely used in the Ukrainian IT



market. Such systems are most commonly used in e-commerce companies: online stores such as Amazon, Ebay, Alibaba, etc.

In this paper, we use the recommender system as one of the elements to improve car search process, recommending to each user of the site Automoto.ua (aggregator of car sale ads in Ukraine) other cars on certain grounds [117].

Aim - improve the accuracy of the recommender system on the site Automoto.ua - "Others also search with this car" based on the cosine measure of the collaborative filtering algorithm item-to-item.

## **Materials and methods**

### **Disadvantages of the recommender system based on the "user to user" algorithm**

In the previous algorithm of the recommender system "Others also search with this car", we used a method of collaborative filtering called collaborative filtering based on users (user to user), that analyzed user behavior and predicted which car the user "would like" based on its similarity with other users. But this method has two main problems:

1. Rarity of data: In the case of a large number of elements, the number of elements with which the user interacted is reduced to a small percentage, that makes the correlation coefficient less reliable.
2. Users change quickly (find the wanted car and stop searching), and the entire model of the system needs to be counted, that is time consuming and computationally expensive.

### **Choose an algorithm "item to item"**

To solve these problems, we will use collaborative item-to-item filtering.

Collaborative item-to-item filtering looks for elements similar to those with which the user has already interacted, and recommends most of these elements. In our case, the algorithm looks for similar cars similar to those that the user was looking for. When we talk about the similarity of a car, we do not mean that two cars are the same in different attributes. Instead, similarity means that users treat two car sale ads equally.

This method is quite stable in itself compared to collaborative filtering based on users (user to user), because the element (car sale ad) with which there was interaction has much more data than the user [118].

### Similarity calculation of the two sale ads

To calculate the similarity between two car sale ads, we consider a set of elements that shape the characteristics of the car, and calculate how similar they are to the target sale ad, and then select the N-majority of similar elements. The similarity between the two sale ads is calculated using the traffic metrics of the users who viewed the ads, using the following cosine similarity feature:

$$w_{ij} = sim(i, j) = \frac{\sum_{u \in U_i \cap U_j} \hat{r}_{ui} \hat{r}_{uj}}{\sqrt{\sum \hat{r}_{ui}} \sqrt{\sum \hat{r}_{uj}}} \quad (1)$$

Once we have similarity data between the sale ads, the forecast is calculated by taking the weighted average of the target user's estimates by analyzing the views for these similar ads.

The formula for calculating the rating is very similar to collaborative filtering based on users, except that the comparison is made between car sale ads, not between users. And we use user cookies to analyze car sale ads views, not the number and similarity of other users to current car ads.

$$S_{(i;u)} = \mu_i + \frac{\sum_{j \in I_u} (r_{uj} - \mu_i) \omega_{ij}}{\sum_{j \in I_u} |\omega_{ij}|} \quad (2)$$

## Integration of the recommender system

The recommender collaborative filtering system based on the item-to-item algorithm is integrated on the product pages of car sales ads: <https://automoto.ua/BMW-320-2014-Kremenchug-38289692.html>.



Figure 1. Placement of the recommender system "Others also search with this car" on the Desktop version of the site Automoto.ua.



Figure 2. Placement of the recommender system "Others also search with this car" on the Mobile version of the site Automoto.ua

The Automoto.ua database was used during the calculations. After processing the data using the cosine similarity formula, we obtained a number of values on the similarity rating, taking into account the views of car sale ads in terms of technical characteristics within a particular user listed in table 1.

Table 1.

Example of data on similarity rating (similar.rating) ads based on 1 user and many Auto\_id (ads).

	<b>User_id</b>	<b>Auto_id</b>	<b>Similar_rating</b>
<b>29</b>	58098561	33801595	0.349188
<b>814</b>	58098561	31539428	0.306611
<b>560</b>	58098561	34372822	0.297872
<b>2200</b>	58098561	34372233	0.288340
<b>554</b>	58098561	34371238	0.287614
<b>2116</b>	58098561	34368442	0.287348
<b>621</b>	58098561	34361803	0.283335
<b>503</b>	58098561	34361456	0.278155
<b>564</b>	58098561	34360773	0.276866
<b>1987</b>	58098561	34358911	0.264006
<b>1990</b>	58098561	34355764	0.263294
<b>1306</b>	58098561	34353340	0.255072
<b>1959</b>	58098561	34351775	0.249789
<b>2320</b>	58098561	34349336	0.248852
<b>2204</b>	58098561	34337864	0.245099
<b>2293</b>	58098561	34334117	0.235090
<b>424</b>	58098561	34334104	0.229968
<b>27</b>	58098561	34332637	0.226918

Continuation of table 1

<b>316</b>	58098561	34332604	0.218728
<b>2074</b>	58098561	34327493	0.218560
<b>2350</b>	58098561	34325440	0.214290
<b>182</b>	58098561	34315272	0.214233
<b>333</b>	58098561	34315105	0.213147
<b>2275</b>	58098561	34312530	0.212472
<b>2196</b>	58098561	34311873	0.209124
<b>2396</b>	58098561	34311335	0.208919
<b>180</b>	58098561	34308838	0.206741
...	...	...	...

Before working with the recommender system, we set up event tracking for clicks on the referral system "Others also search with this car" using the tool Google Tag Manager [119].

### Results and discussion

We compared the results of clicks on the recommender block "Others also search with this car" using the well-known analytical tool Google Analytics:

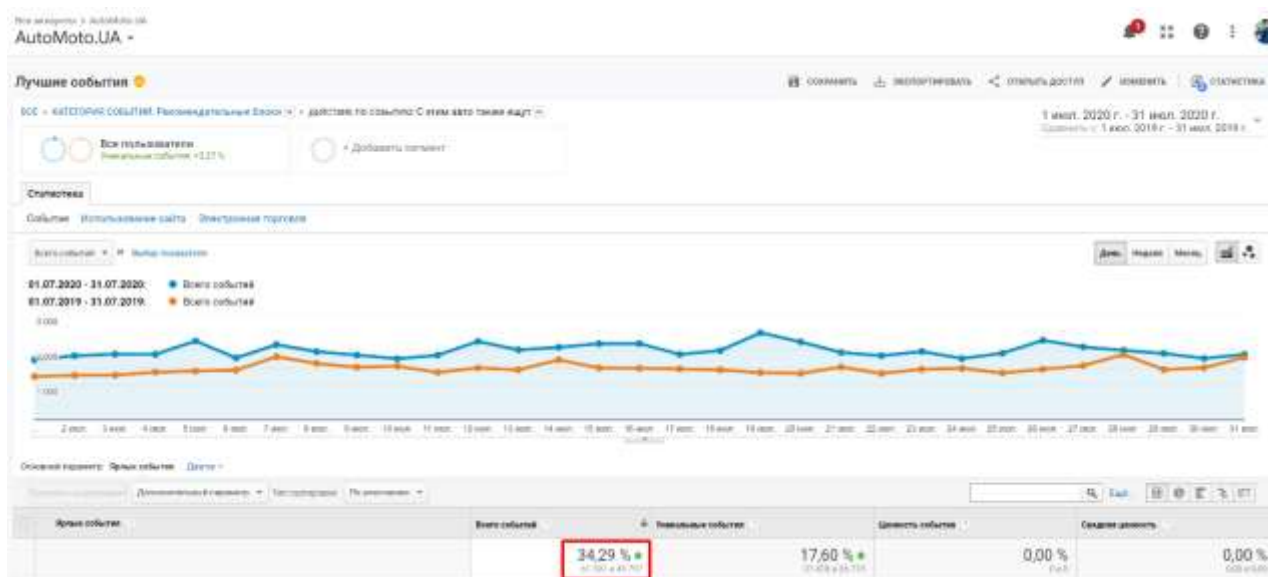


Figure 3. The results of improving the accuracy of the recommender system

Figure 3 shows that we compared the data on "Events" (clicks) on the block "Others also search with this car" from 1 to 31 July 2020 (item-to-item algorithm) to 1 to 31 July 2019 (user-to-user algorithm). Rate of growth was 34.29%, that is a positive result. It would be not correct to compare with the previous month, as the automotive sector is seasonal, so the data were compared with last year's data. Also, on December 4, we introduced new technical changes to the Automoto.ua web resource, which increased its overall traffic, improved the user experience and optimized speed. These changes have caused some increase in the number of clicks on the recommender system by additional 22%, if we compare 04.12.2020 - 19.12. 2020 to the previous period.

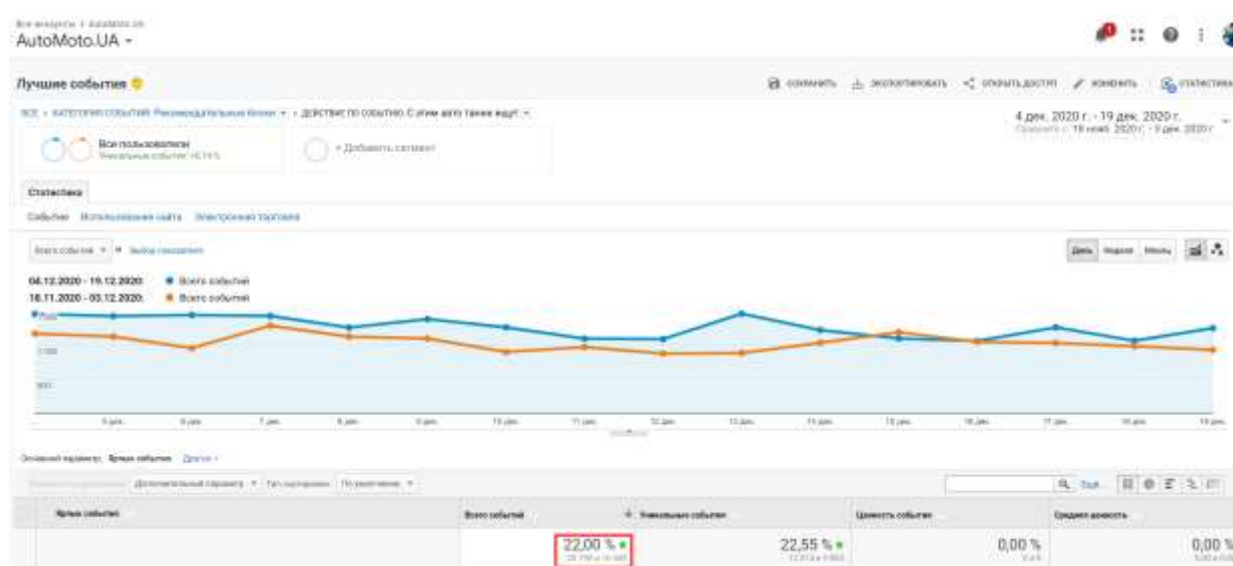


Figure 4. The results of technical optimization and the impact on the results of the recommender system

### Conclusions

The accuracy of the recommender system was improved by using the method of cosine measures of the item-to-item algorithm, in comparison with the user-to-user algorithm by 39.29%. After improving the accuracy, the work was undertaken to optimize the web resource for better interaction with the recommender system. This increased the number of clicks on the recommender system by 22%, compared with the previous result within the framework of the technical optimization of the resource Automoto.ua.

## 2.8 Finite element modeling of thin-walled shell structure with cracks

An urgent problem of the construction industry, oil and gas and chemical industries is to ensure trouble-free operation of welded shell structures, especially tanks for storage of environmentally hazardous substances [120, 121]. Permissible initial defects, which in most cases occur during manufacture, transportation and installation, under certain external influences can develop to a critical size and cause the destruction of shell structures. During operation, there is a high probability of occurrence and development of multicellular damage in welded structural elements. This can lead to destruction, which is characterized by sudden and rapid spread due to merging with each other. The development of theoretical methods and new numerical approaches in the study of continuous and discrete destruction of deformable bodies under the action of both static and dynamic loads remain the main ways to solve the problems of mechanics of destruction of shell structures. But to ensure trouble-free operation of welded shell structures, it is necessary to constantly control the parameters of their stress-strain state, dynamic characteristics and the process of destruction of welds. At present, there is a tendency to develop systems for structural monitoring of structures, an important stage of which is the theoretical justification and the choice of diagnostic methods to determine the current state of structures in real operating conditions [122-124]. The primary task for such a substantiation is to develop a diagnostic model of the structure in order to determine the dependences of the parameters that characterize its technical condition, from many parameters of defects or damage.

Modern computer systems, which are based on the methods of structural mechanics, mathematical physics, mechanics of solids and deformed bodies, have advanced service capabilities and allow to model both static and dynamic behavior of shell structures. One of the common methods of structural mechanics, which is implemented in computer systems, is the finite element method [125]. The question of building computer models of welded shells, which would allow to study the impact of weld defects on the condition of structures with the ability to predict the multicentric fault propagation, remains relevant.

For computer modeling of thin shell structures with weld defects, the authors used the software product MSC. Software Corporation – complex MSC. NASTRAN finite element analysis [126]. The users of the software of this company are enterprises of aerospace, automobile, electronic, construction and other industries, as well as higher educational institutions. A review of explorings of welded shell structures has shown that in many cases they are modeled by solid bodies, which greatly simplifies the calculations. But accounting the welds allows you to bring the computer model closer to the real design and better investigate its behavior. An example of computer finite element modeling of welded shell structures, made by the authors, is a fuel tank with a protective container [122]. The complex butt-welded shell structure is presented in Fig. 1 in the form of a system of two connected cylindrical shells. The walls of the shells were modeled in the form of belts, consisting of surfaces whose dimensions corresponded to the rolled metal sheets. Each surface was divided into quadrilateral flat shell finite elements with six degrees of freedom in the node. In the places of fastening of branch pipes for injection and selection of fuel the quadrilateral flat finite elements are replaced by triangular.

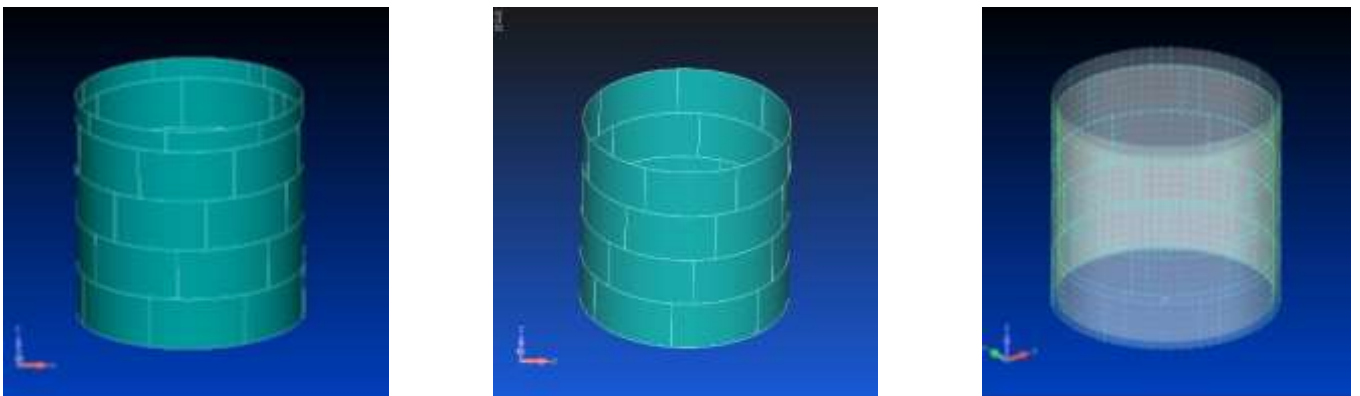


Figure 1. Finite element model of thin-walled shell structure.

Defects of welds were modeled in the form of vertical and horizontal cracks (Fig. 2) using triangular and quadrangular flat shell finite elements, taking into account the recommendations of the developers of the software package NASTRAN [126]. The width of the crack opening was assumed to be constant and corresponded to the diameter of the weld between the rolled sheets of the shell walls. The length of crack opening increased and was assumed to be relative to the length of the vertical weld.



With the help of the presented modeling the structural safety of the shell structure in the presence of separate vertical and horizontal cracks in the welds from the action of static and dynamic operating load is investigated.

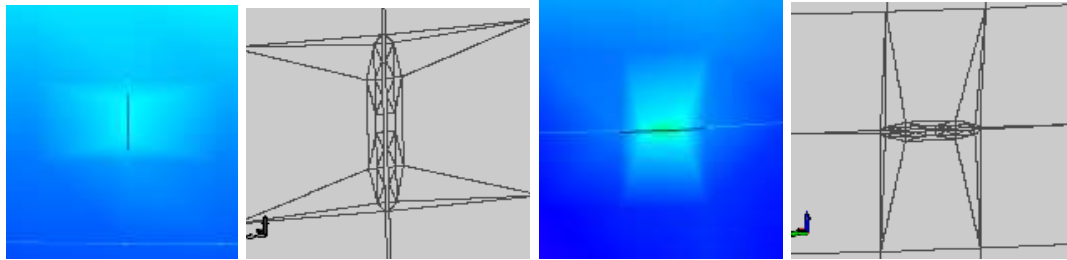


Figure 2. Finite element models of cracks.

Computing procedures of the NASTRAN complex were applied [126]: solving the geometrically nonlinear problem of statics by the Newton-Rafson method, stability and natural oscillations without and taking into account the operational load by the Lanzosch method. The explorings have shown that the presence of individual cracks in welds reduces the bearing capacity of the shell in accordance with the increase in their length. The effect of the horizontal crack on the stress-strain state and the stability of the two shells is more significant than the vertical one. The results showed that the cracks do not significantly affect the frequencies of the natural oscillations of the shell, but make local changes in the shape of the oscillations in their locations.

In order to develop a comprehensive system of structural monitoring (Structural Health Monitoring concept) of this design, a diagnostic computer model of the protective container with the ability to assess the occurrence and development of multicellular damage to welds [123, 124]. Neural network classifiers are determined in the places of possible location of sensors: deformations, stresses and frequencies of natural oscillations. The finite-element model of the protective container and the location of the sensors is presented in Fig. 3. Three models of defects are considered: the first - two horizontal through cracks in the weld of the first belt with lengths that simultaneously increase until the formation of a continuous crack; the second - one vertical and two horizontal cracks of equal length, which occur sequentially one after the other and are located in the first and second belts of the shell; the third is one vertical

crack in the fifth half-belt and a horizontal crack in the fourth belt, the lengths of which increase.

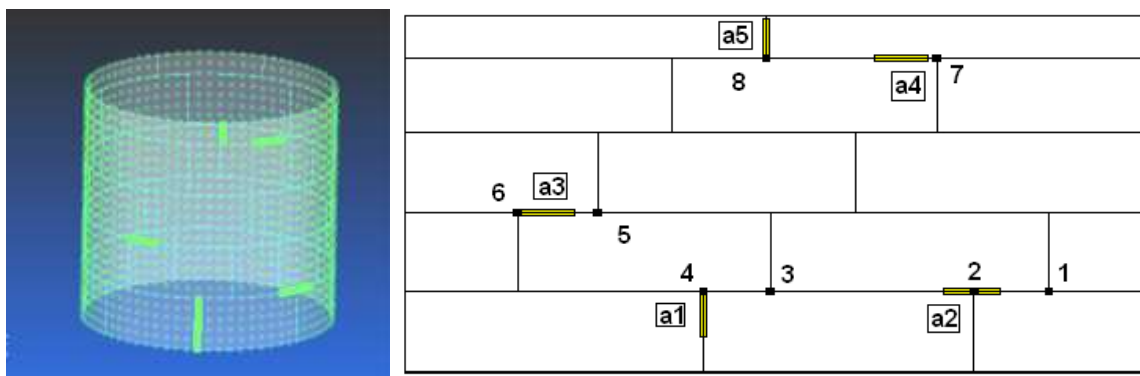


Figure 3. Finite element model of protective shell.

The estimation and forecasting of change of static and dynamic characteristics of a cover due to distribution of defects of welds, increase in their quantity and a location is executed. Geometrically nonlinear problems of statics, stability and natural oscillations are solved. Neural network classifiers are defined: equivalent stresses, maximum displacements, frequencies and forms of natural oscillations of capacitance without and taking into account static action of axial compressive loading. The results showed that the presence of cracks, their location and increase in their length in all productions reduces the rigidity of the protective tank, changes the frequency and shape of its own oscillations.

The efficiency of the presented finite-element modeling of thin shells with weld defects in order to assess and predict the technical condition of structures at all stages of the life cycle is confirmed.

## 2.9 Structuring of methods for solving mathematical and applied tasks and its information entity

### **The main material research.**

The ability to solve problems is a key indicator of mathematical and intellectual development of the individual, which indicates the depth of knowledge gained during studying. Knowledge checking is basing on an evaluation skill to solve problems of various types, while mastering theoretical knowledge is not a ground for ability to find methods and ways of solving problems. The reason for this situation is the following: some students involve into the process of solving the problem while others cannot and do not try to understand their essence; trying to understand the essence of the techniques and methods of solving problems, studying the logic and conceptual structure of problems and identifying its purpose; choosing the general methods and procedures and ways of solving problems from each decision; understanding the nature of solved tasks, structure of mathematical transformations and construction of output and evidence logic. In order to solve the problem during the studies it's necessary to identify their structure and imagine the solution tool.

*Definition:* the task is a request or questions, which requires an answer on the basis of the conditions, mentioned in the task [128]. *Task structure, description:* to analyze the content and structure; to define the requirements and purpose; to estimate the conditions under which we must solve the problem; to view known methods and means of the achievement the goal process and choose one of the options; to perform the solution and evaluate results relative to purpose. *During solving the problem, it is needed:* divide the formulation of the problem on terms; select components and the basic conditions and requirements, purpose; analyze the structure of the task. *Task analysis course:* when analyzing the task and highlighting the conditions out of the task description, it's necessary in the search for ways and methods of resolving to bind conditions with the requirements and purpose and nature of the requirements detection. *Schematic tasks structure:* the preliminary analysis is necessary to formalize and record in the appropriate form, the scheme depending on the type of problem. *Structured*

tasks: solving equations and inequalities; transformation of expressions forms; logical forms and its transformation. *Unstructured tasks*. According to the analysis post is recorded: tasks type; basic requirements and purpose; conditions objects; components characteristics; graphic scheme task structure. Accordingly, on the basis of the analysis, classes and mathematical problems that vary by the nature of its facilities and the type of conditions and requirements, can be identified. *The essence and structure of mathematical tasks solving*. To identify ways and methods of solving tasks, the one must realize intelligent steps needed to build the process of solving tasks of different classes Figure 1.

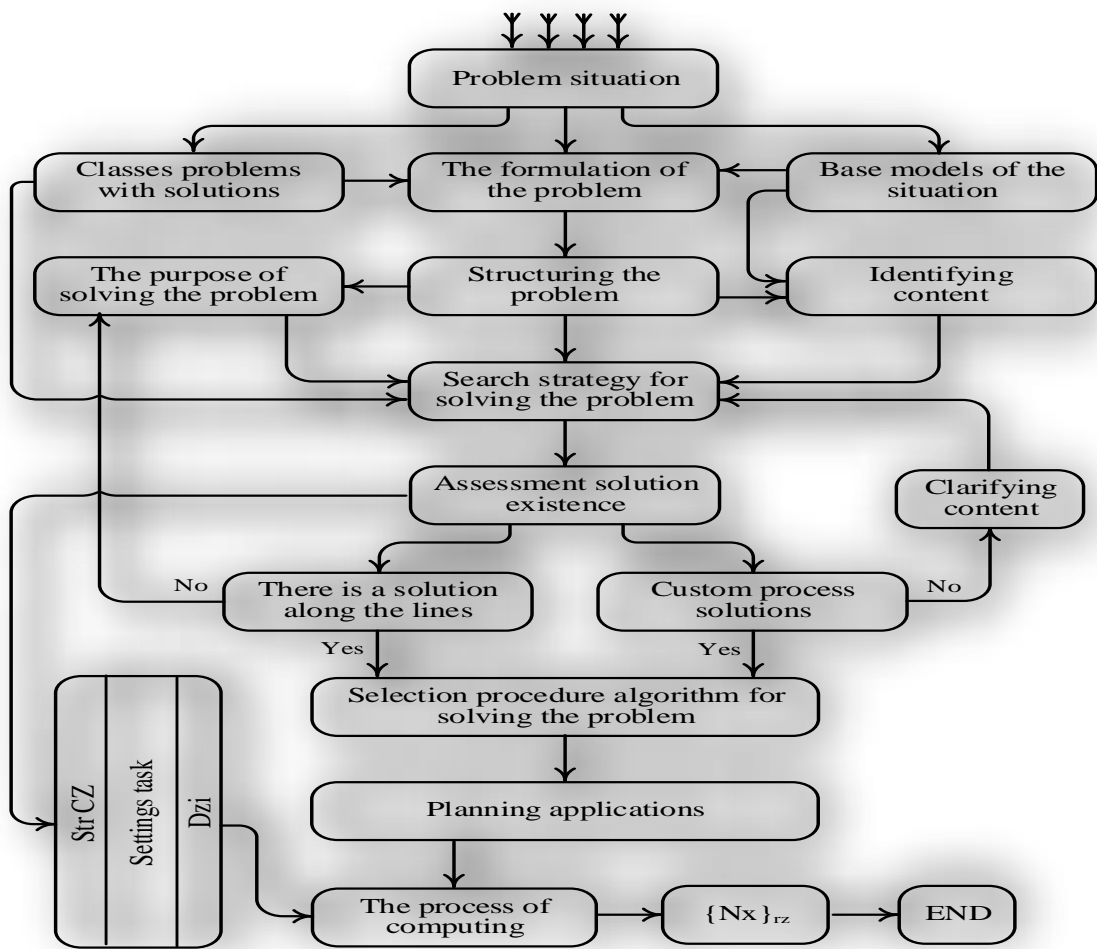


Figure 1. Scheme of situational tasks formation

In accordance, the scheme of partitioning process on components and steps that reflect the procedures and algorithmic thinking as logically structured tasks solving process, is built for each task. Table 1.

Table 1

№ Step	Theory basics	Conditions	Results
1.	Laws	$Z_i$	
2.	Rules	$\Pi_i$	
3.	Actions according to rules	$D_i: (\Pi_i * Z_i) X_{ij}$	A: $X_{ij} \in V_m < \frac{F}{T}$
4.	Rules of output		
5.	Properties		
6.	Final actions		H: $X_{ij} \in V_m \rightarrow T$

**Research methods:** The process of solving the task is based on intellectual activities and using information about the task nature and information technologies which are formed during the studying. The process has logical and mathematical structure and its implementation is divided into stages: *the first stage* - task analysis, is to identify the nature of the informational entity, content, purpose, conditions and requirements. *The second stage* - a schematic record or task nature and its mathematical and logical structuring, that is needed to find way to task solution. *The third stage* - searching a way of task solving based on existing methods or finding new which guarantee the task solving based on the solutions, implemented earlier. *The fourth stage* - performing the procedure and the process of task solving on the basis of selected methods, previously tested. *The fifth step* - verification task solution for compliance with the conditions, requirements and goals. *The sixth stage* - the study of critical conditions in the task solving process, which requires to set conditions under which the task has a solution and many possible solutions in the conditions correction, the inability to estimate the conditions of existence of the task solving (algorithm

procedures, policies). *The seventh stage* - formation of response and result of task solution and its informational nature regarding reaching the goal. *The eighth stage* - analysis of the process and solution results and evaluation of the answers adequacy. Tasks structuring is shown in Figure 2.

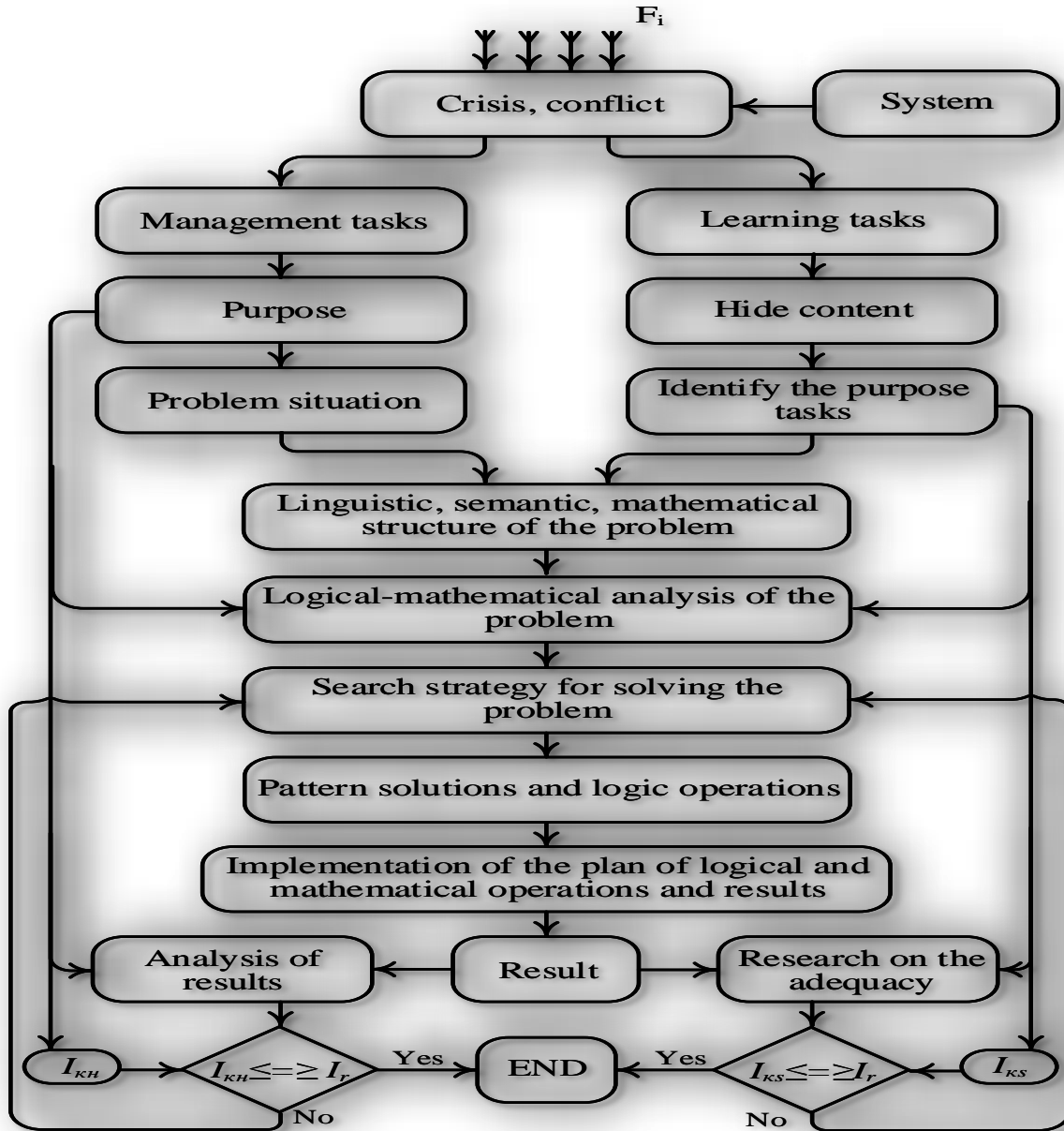


Fig. 2 Scheme of task structuring

The structure of the task solving process primarily depends on the type of the task and accordingly what knowledge and required skills the student has [127]. It is not always possible to distinguish clearly the phases of task solving and its logical and informational structure. During the task analysis procedures are searched, as well as the method of its solution, plan of mathematical, logical and intelligent actions based

on the goal achievement idea (strategy). Standard tasks. The method of standard tasks solving is to construct a sequence of steps of logical and mathematical operations that reflect information and intellectual activity during person thinking. Each step is the application of mathematics to the task terms or its consequences, i.e. the search of sequence of steps with a particular kind of logical and mathematical operations are the basis of the tasks solving process according to the target. *The first step* - established mathematical tool for multiple kinds of tasks to which the problem belongs. *The second step* - the search of procedure for implementation of task solving process is the plan drafting on the basis of rules, formulas, identical transformation, definitions of theorems-programs - a sequence of intelligent steps-actions for specific task solution type. *The third step* - the standard solution of the problem is modeling the algorithm according to the terms of the program conditions. If some of the steps the task solving search program require for their implementation some additional units of program, then towards them are carried the same mathematical and logical actions and operations (recognition type of structure problems, intelligent and informative programming, logical operations and actions during solution). To solve standard tasks with the classical method without information technology the student as an intelligent agent must keep in their memory: all studied in the mathematics classes general rules, formulas, equalities; general provisions, definitions and theorems. Rules, using which you can find a sequence of steps to solve a certain class of problems (strategies, plans, information diagrams of decision-making to manage the process of achieving the goal). The rules by which you can find a sequence of steps for solving a certain class of problems (strategies, plans, informational diagrams of decision-making for control of the goal achievement process).

*In accordance rules are set in different forms:* verbal rules based on definitions; formulas rules that indicate the sequence of steps of mathematical operations; equality rules which are the basis of an action program of steps sequence; rules - theorems which are used in a logical proof procedure; definition rules based on the allocation of appropriate definitions [128].

Rules for task solving are formulated in math in the form of pay, in order to use them, the one needs to be able to deploy it as plans and programs. The process of standard task solving has the following features of logical and mathematical, and intelligent operations.

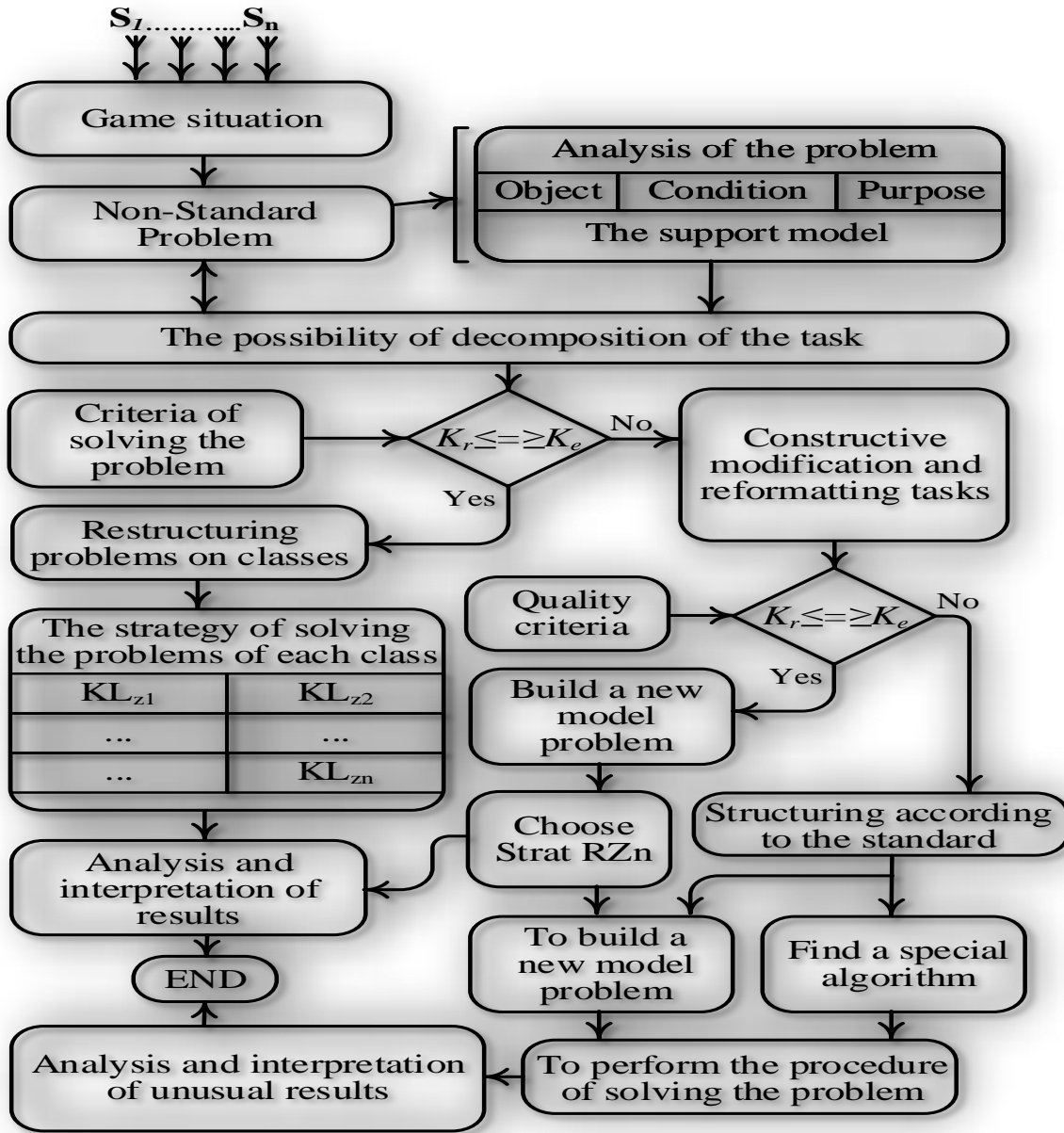


Fig. 3 Scheme of non-standard task solving search

Action plan structure: analysis of the problem is to establish (image recognition of informational structure and content) type of the task; recognize the type of the task and its content; remember all previous mathematics and action performance logic rules based on which the task is solved; for making choice and mathematical and logical operations it's necessary to know the target orientation and the task conditions;



to be able to deploy in the sequence the general rules, formulas, definitions and theorems in algorithms and actions programs (algorithmization of problem solving process) [129]. Structure of non-standard task solving search is shown in Figure 3. The process of non-standard task solving lies in the consistent application of the two major intelligent operations of logical and informational nature: building, by changing the non-standard task to standard task for which there is a solving algorithm and program with appropriate correction of conditions partition of non-standard task into multiple standard under-tasks (decomposition of tree structure and objectives); application of heuristic rules for searching the plan of solving non-standard tasks and related intellectual resources (knowledge).

### **Conclusion.**

The method of structuring procedures for solving mathematical and applied problems and identifying their informational nature is studied. Models of situational problems formation are described and the prospects of research and the use of non-standard task solving search model are proposed, and the method of algorithm search for solving mathematical tasks as components of information technology is justified.

## 2.10 Моделювання технологічних процесів із використанням адитивних ІТ-технологій

Сучасне інформаційне суспільство все більше спирається на використання автоматизованого і роботизованого обладнання, технологій швидкого прототипування (таких як 3D-друк) і програмних засобів конструювання технічних об'єктів. Сьогодні ІТ-індустрія потребує кваліфікованих фахівців, що володіють сучасними технологіями, засобами, обладнанням. Серед таких – спеціаліст, що створює на комп'ютері моделі виробів, після чого вони виготовляються на автоматизованому обладнанні. Спеціаліст такого профілю – людина креативна, що критично мислить, володіє винахідливістю, спеціальними знаннями та вміннями.

В умовах сучасного ринку і постійного зростання конкуренції якнайшвидше створення інноваційного продукту є життєво важливим для успішного розвитку будь-якого підприємства. Світові виробники розуміють, що в сучасному світі, щоб бути на лідируючих позиціях, потрібно максимально оперативно втілювати нові ідеї в працездатні рішення. Це неможливо без генерації цих ідей і без нових технічних рішень для якнайшвидшого їх втілення в життя [130]. Тому використання технології 3D-друку буде одним з кращих технічних рішень для прискорення реалізації різних нових ідей в життя. А процес моделювання технологічних процесів стане корисним при розробці нових продуктів, оскільки віртуально можливо побачити увесь життєвий цикл виготовлення та вносити корективи у роботу обладнання [131, 132].

У зв'язку з цим актуальним є питання формування у майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки за допомогою програмного забезпечення, що моделює технологічний процес. Для забезпечення формування зазначеної компетентності та, як наслідок, підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери на ринку праці доцільним є вивчення основ 3D-друку.

Свої професійні навички за допомогою 3D-технології можуть удосконалювати майбутні інженери, дизайнери, архітектори, медики та студенти багатьох інших спеціальностей [133, 134].

Адитивне виробництво, або 3D-друк, - процес створення тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі їх цифрових моделей. Концепція 3D-друку заснована на побудові об'єкта послідовно нанесеними шарами, що відображують контури моделі.

Адитивні технології широко використовуються для прототипування і розподіленого виробництва в архітектурі, будівництві, промислового дизайні, автомобільній, аерокосмічній, промисловій, інженерній та медичній галузях, біоінженерії (для створення штучних тканин), виробництві модного одягу та взуття, ювелірних виробів, в освіті, географічних інформаційних системах, харчовій промисловості та багатьох інших сферах людської діяльності.

Таблиця 1.1.

## Класифікація основних методів 3D друку

Метод	Базова технологія	Матеріали, що використовуються
Екструзійний	Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM, FFF)	Термопластичні полімери (поліактид (PLA), акрилонітрилбутадієнстирол (ABS))
Дротовий	Виробництво довільних форм електронно-променевої плавки (EBF)	Майже всі металеві сплави
Порошковий	Пряме лазерне спікання (DMLS)	Майже всі металеві сплави
	Електронно-променева плавка (EBM)	Титанові сплави
	Вибіркове лазерне плавлення (SLM)	Титанові сплави, кобальт-хромові сплави, нержавіюча сталь, алюміній
	Вибіркове теплове спікання (SHS)	Порошкові термопластичні полімери
	Вибіркове лазерне спікання (SLS)	Термопластичні полімери, металеві порошки, керамічні порошки
Струменевий	Струменевий тривимірний друк (3DP)	Гіпс, пластики, металеві порошки, піщані суміші
Ламінування	Викотолнення об'єктів методом ламінування (LOM)	Папір, металева фольга, пластикова плівка
Полімеризація	Стереолітографія (SLA)	Фотополімери
	Цифрова світлодіодна проекція (DLP)	Фотополімери

Технологічні особливості процесу тривимірного друку, що головним чином залежать від технології адитивного виробництва, лежить в основі цього процесу

[135]. Класифікація основних методів і технологій, що застосовуються в тривимірному друку на сьогоднішній день, представлено в таблиці 1.1.

Оскільки представлені в таблиці методи друку суттєво відрізняються по принципам, що лежать в їх основі, умовам застосовності, матеріалами, формою і функціональним призначенням виробів, одержуваних з їх допомогою, варто вивчати кожен з методів окремо.

Найбільш поширеним та найпростішим для освоєння і реалізації на сьогоднішній день є моделювання методом пошарового наплавлення (FDM/FFF), або екструзії, що було розроблено С. Скоттом Трампом в кінці 1980-х років і отримало комерційне поширення в 1990 році силами компанії Stratasys.

У зв'язку із закінченням терміну дії патенту існує велика кількість розробників 3D-принтерів з відкритим вихідним кодом, а також комерційних організацій, що використовують дану технологію [136]. Також це дає можливість вдосконалення процесу виготовлення, застосовуючи досвід міжнародної спільки фахівців у різних інженерних галузях.

Виробничий цикл починається з обробки тривимірної цифрової моделі. Модель ділиться на шари і орієнтується найбільш підходящим чином для друку. На цьому етапі розробник програмує обладнання на роботу. За допомогою програмного коду описується рух екструдера, робочого столу, температури робочого середовища, швидкості та інші процеси. Відповідно можна внести корективи в роботу 3D принтера (рис. 1).

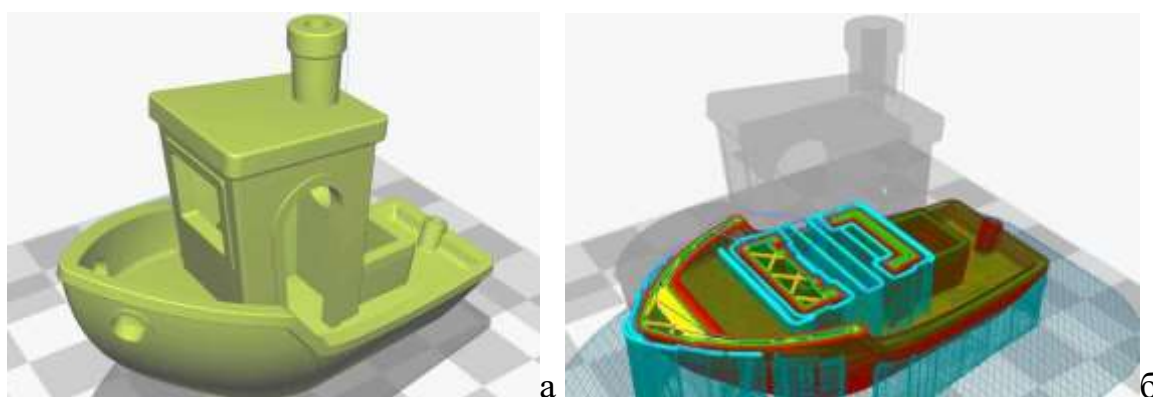


Рис. 1. Загальний вигляд моделі (а) та моделювання і відображення процесу виготовлення (б)

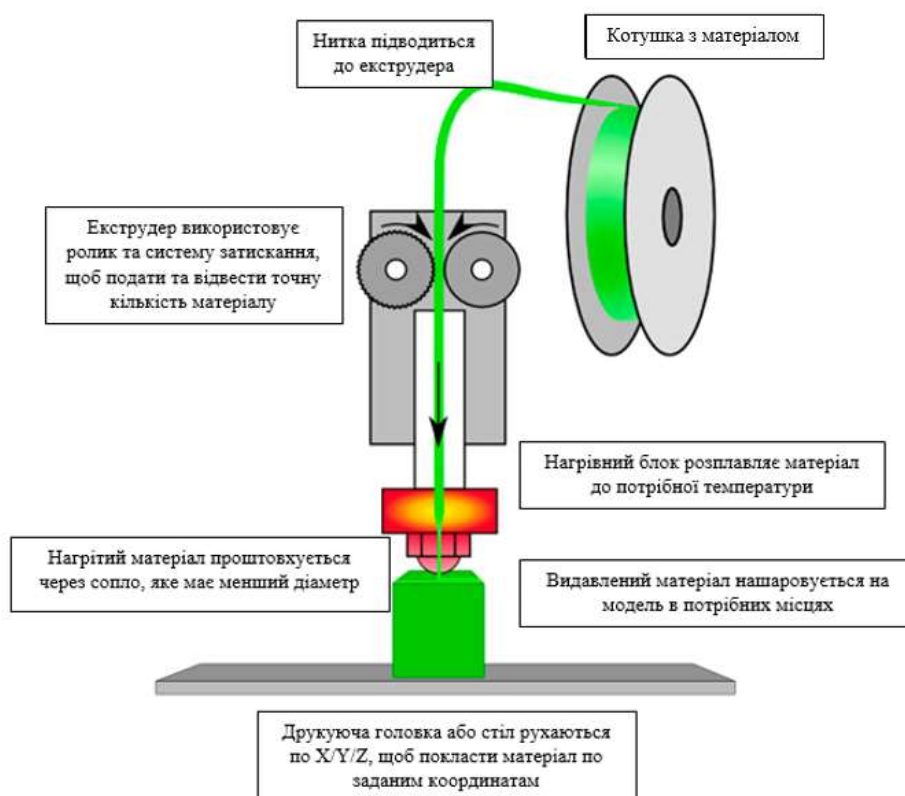


Рис. 2. Схема пристрою 3D-принтера екструзивного типу

Виріб виготовляється видавлюванням (екструзією) і нанесенням мікрокрапель розплавленого термопластичного полімеру з формуванням послідовних шарів, що застигають відразу після екструзії (рис. 2).

Пластикова нитка розмотується з котушки і подається в екструдер - пристрій, що оснащений механічним приводом для подачі нитки, нагрівальним елементом для плавки матеріалу і соплом, через яке здійснюється безпосередньо екструзія. Нагрівний елемент служить для нагрівання сопла, яке в свою чергу плавить пластикову нитку і подає розплавлений матеріал на модель. Як правило, верхня частина сопла, навпаки, охолоджується за допомогою вентилятора для створення різкого градієнта температур, необхідного для забезпечення плавної подачі матеріалу.

Екструдер переміщається в горизонтальній і вертикальній площинах під контролем алгоритмів, що аналогічні в верстатах з числовим програмним управлінням. Сопло переміщується по траєкторії, заданої системою автоматизованого проектування (САПР). Модель будується шар за шаром, від

низу до верху. Екструдер ( «друкуюча головка») приводиться в рух кроковими двигунами або сервоприводами. Найбільш популярною системою координат, яка застосовується в технології FDM, є декартова система, побудована на прямокутному тривимірному просторі з осями X, Y і Z. Альтернативою є циліндрична система координат, яка використовується дельта-роботами.

Технологія пошарового наплавлення має певні обмеження за складністю створюваних геометричних форм. Головною перевагою цієї технології є її доступність.

Отже, у майбутніх кваліфікованих робітників IT-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки за допомогою програмного забезпечення, що моделює технологічний процес, потрібно постійно вдосконалювати. Для забезпечення формування зазначеної компетентності та, як наслідок, підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників IT-сфери на ринку праці необхідно постійно розвиватись у сфері основ 3D-друку.

## 2.11 Метод підвищення безпеки передачі даних з використанням стеганографічного підходу

Основними положеннями сучасної комп'ютерної стеганографії є наступні: методи приховування повинні забезпечувати автентичність і цілісність файлу – контейнера (будь-який файл або потік даних, структура і розмір якого дозволяють вбудувати (приховати) необхідні дані); передбачається, що джерелами зовнішнього впливу повністю або частково відомі можливі стеганографічні методи; безпека інформаційних технологій ґрунтується на збереженні стеганографічним перетворенням основних властивостей відкрито переданого файлу при внесенні до нього повідомлення і деякої невідомої інформації - ключа; навіть якщо факт приховування повідомлення стало відоме джерелу зовнішнього впливу (потенційний або реальний суб'єкт (порушник, сторонній користувач та ін.) який здійснює навмисний (атаку) або ненавмисний вплив на стегосистему з метою виявлення стежоканала, вилучення переданої в ньому інформації або її знищення і спотворення), витяг самого повідомлення представляє складну обчислювальну задачу [137].

Переважна більшість методів КС базується на двох ключових принципах [137]: файли, які не вимагають абсолютної точності представлення і відтворення даних (наприклад, файли з зображенням, звуковою інформацією і т.д.), можуть бути видозмінені (звичайно, до певної міри) без втрати своєї функціональності; органи чуття людини не здатні надійно розрізняти незначні зміни в модифікованих таким чином файлах і/або відсутній спеціальний інструментарій, який був би здатний виконувати це завдання.

Запропонований метод має наступні етапи:

Етап 1. Обираються контури зображення для вбудовування даних та ділянки в цих контурах, в які буде вбудовуватись інформація. При виборі контурів було виявлено, що в більшості випадків контур не широкий (рис. 1).

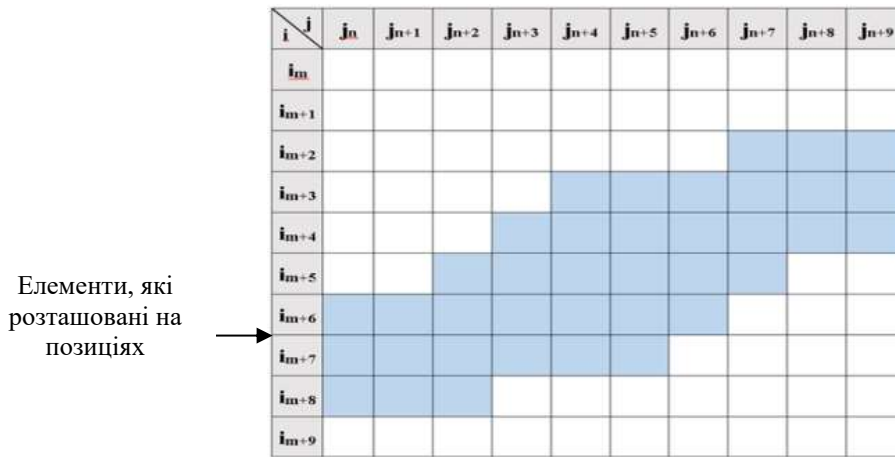


Рисунок 1. Ширина контуру в зображенні

Алгоритм визначення ділянок для вбудовування наступний:

1. Перебираючи всі елементи маски зображення знаходиться елемент контуру  $b_{i,j}$  для якого виконується умова що елементи  $b_{i-1,j-1} - b_{i+1,j+1}$  також належать контуру, такий елемент є першою реперною точкою (R1), необхідною для подальшого вбудовування даних (рис 2).

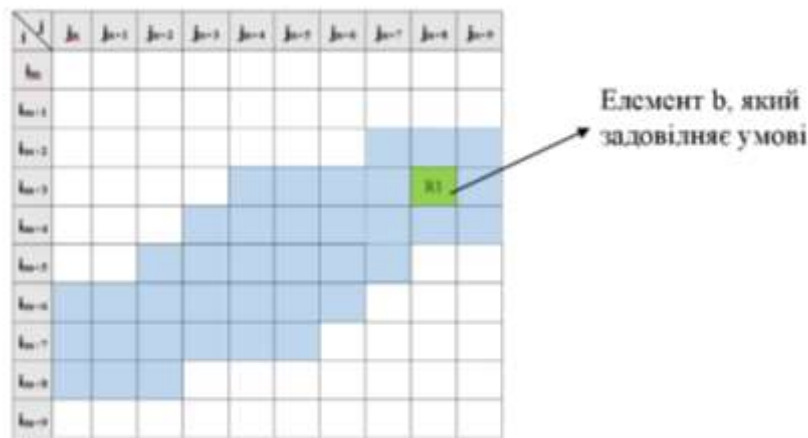


Рисунок 2. Елемент b, який задовільняє умові

2. Здійснюється пошук контурних елементів зображення, які знаходяться на відстані n (значення задається ключем) від знайденого елемента контуру R1 та задовольняють умові, висунутій до елемента R1 (рис 3):



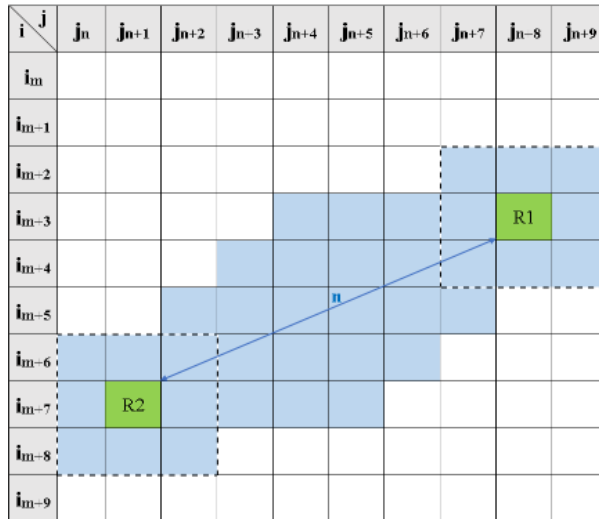


Рисунок 3. Елемент R2 на відстані n від елемента R1

3. Перевіряється, чи всі елементи зображення, що лежать на відрізку (лінії порівняння P) обмеженому знайденими точками, є елементами контуру і не лежать на границі контуру (рис 4).

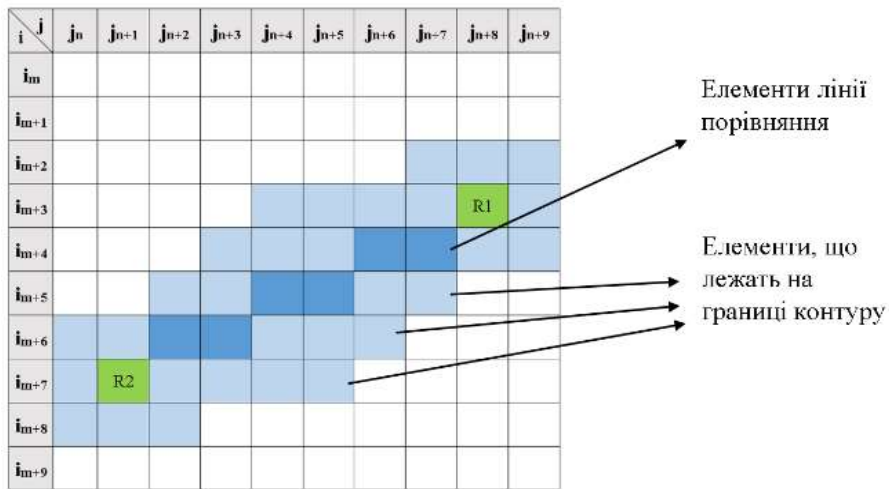


Рисунок 4. Розміщення лінії порівняння

4. Виділяються смуги порівняння  $V_1$  та  $V_0$  (рис 5). Смуга порівняння – це область контуру, що починається від лінії порівняння та відходить в сторону на ширину  $M$ , яка задається ключем.

Елементи смуги  $V_1$  для  $M = 1$  визначаються за формулами:

$$i_{v_1} = \begin{cases} i_p, & \text{якщо } j_{v_1} = j_p - 1 \\ i_p - 1, & \text{якщо } j_{v_1} = j_p, \text{ якщо } j_{R1} > j_{R2} \end{cases} \quad (1)$$

$$j_{v_1} = \begin{cases} j_p, & \text{якщо } i_{v_1} = i_p - 1 \\ j_p + 1, & \text{якщо } i_{v_1} = i_p \end{cases}, \text{ якщо } j_{R1} \leq j_{R2} \quad (2)$$

Елементи смуги  $V_0$  для  $M = 1$  визначаються за формулами:

$$i_{v_0} = \begin{cases} i_p, & \text{якщо } j_{v_0} = j_p + 1 \\ i_p + 1, & \text{якщо } j_{v_0} = j_p \end{cases}, \text{ якщо } j_{R1} > j_{R2} \quad (3)$$

$$j_{v_0} = \begin{cases} j_p, & \text{якщо } i_{v_0} = i_p + 1 \\ j_p - 1, & \text{якщо } i_{v_0} = i_p \end{cases}, \text{ якщо } j_{R1} \leq j_{R2} \quad (4)$$

В формулах 1 – 4:  $v$  – елемент смуги  $V$ , який є сусіднім до  $p$ ;  $p$  – елемент лінії порівняння  $P$ ;

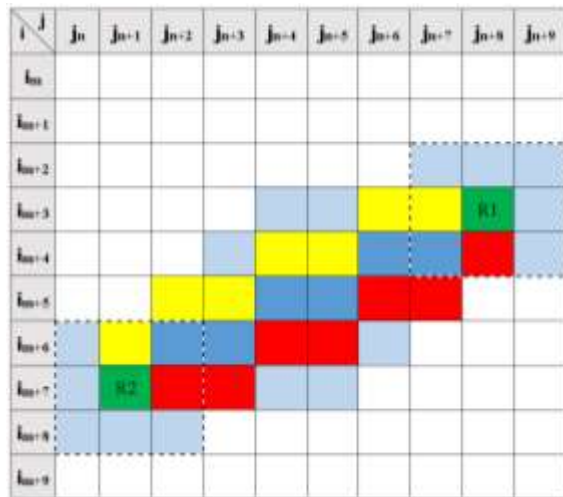


Рисунок 5. Виділена ділянка вбудовування даних на масці зображення

5. Переноситься ділянка вбудовування даних з маски зображення на саме зображення (рис 6):

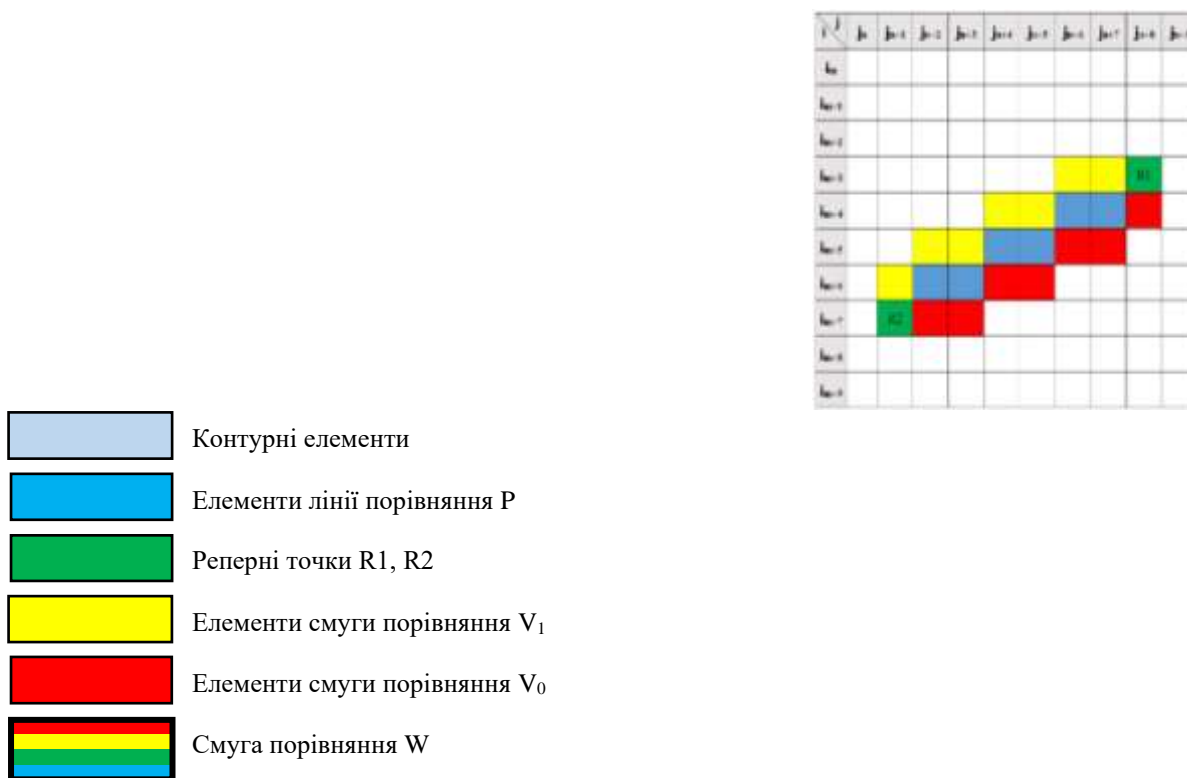


Рисунок 6. Виділена ділянка вбудовування даних на вихідному зображенні

Етап 2. Після виявлення ділянки здійснюється перехід безпосередньо до вбудовування інформації. Алгоритм вбудовування наступний:

1. Виділяються елементи, які будуть змінюватись та не змінювані елементи в процесі вбудовування. Для цього:
  - а. Розставляються елементи смуг порівняння  $V$  в порядку зростання (рис. 7);

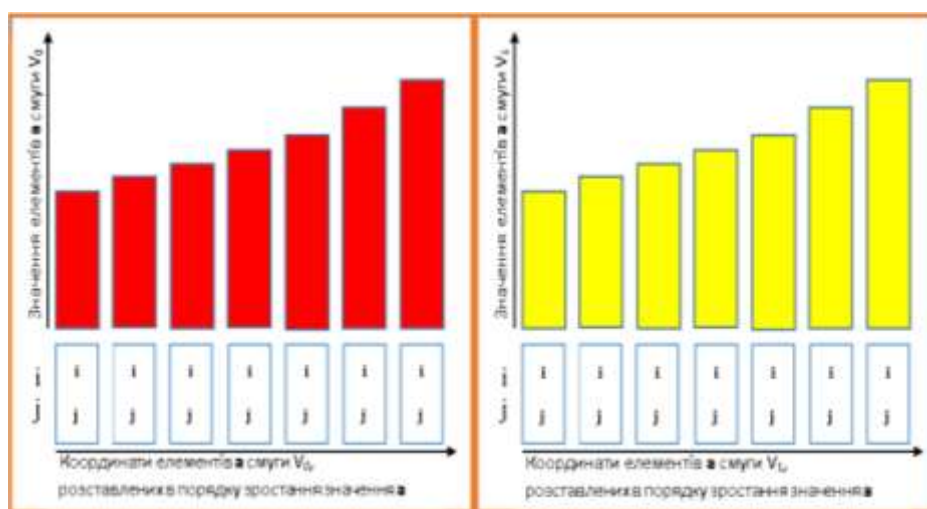


Рисунок 7. Розставлені в порядку зростання елементи

b. Визначається довжина інтервалів  $d$  за формулою:

$$d_y = \frac{a_{max_y} - a_{min_y}}{3}, \quad (5)$$

де: змінна  $a$  це значення елемента зображення, змінна  $y$  вказує на приналежність елемента до відповідної смуги порівняння і приймає значення  $y = (0,1)$ .

c. Визначаються границі інтервалів  $z$  за формулою:

$$z_{q_y} = a_{min_y} + d_y * (q - 1), \quad (6)$$

де змінна  $q$  є номером границі інтервалів та приймає значення  $q = (1,4)$ .

Елементи, які потрапляють у інтервал  $z_2 - z_3$  незмінювані (рис. 8).

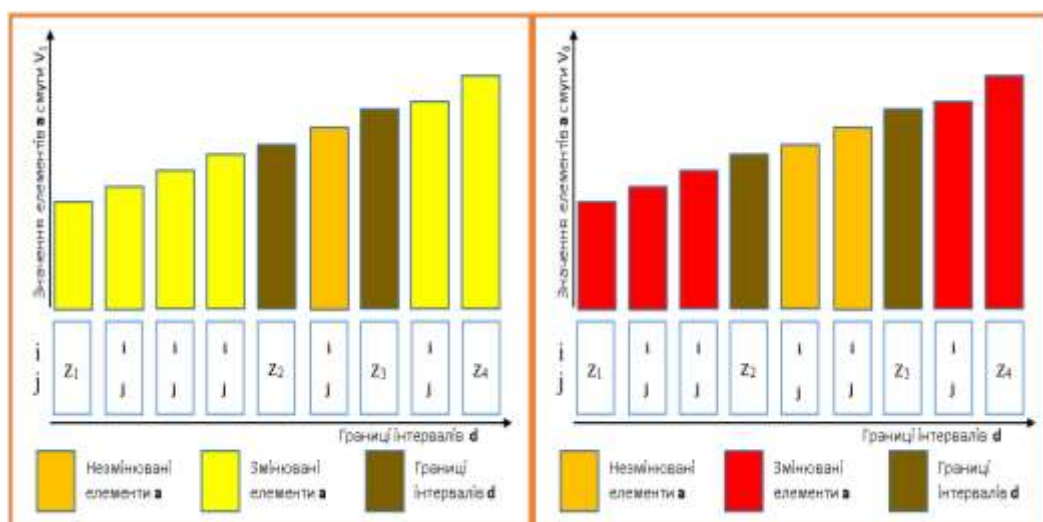


Рисунок 8. Незмінювані елементи

2. Перевіряється, що вбудовано в даній ділянці на даний час. Для цього виконуються наступні дії:

a. Обчислюються середні значення  $S_j$  (рис. 9) за формулою

$$S_{t_y} = \frac{\sum_{m=1}^n a_m}{n}, \quad (7)$$

де: змінна  $t$  є номером інтервалу і приймає значення (1,3), змінна  $n$  це кількість елементів  $a$  на інтервалі, змінна  $m$  є номером елементу  $a$  на інтервалі і приймає значення (1,n).

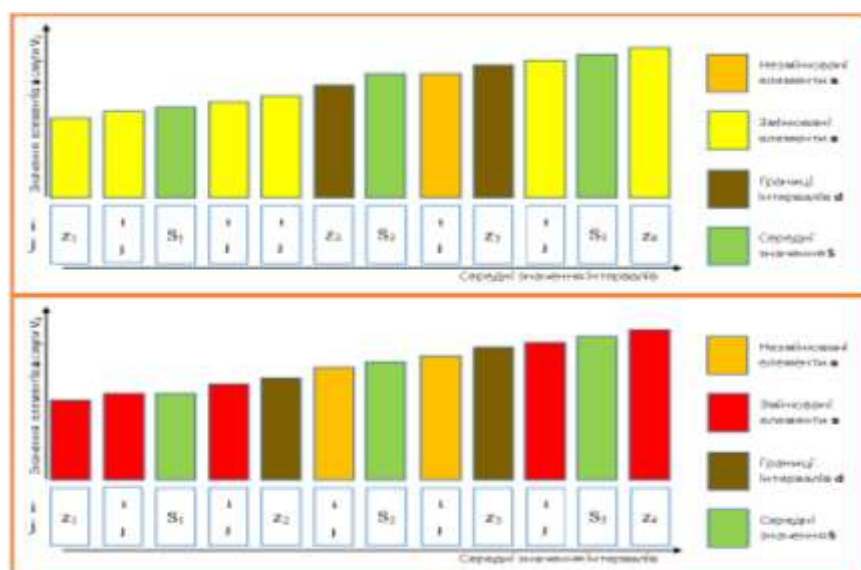


Рисунок 9. Середні значення інтервалів

- a. Обчислюється коефіцієнт порівняння  $H$

$$H = \frac{S_3}{S_1 + S_2}. \quad (8)$$

- b. Порівнюється значення коефіцієнта  $H$  смуги «1» із значенням коефіцієнта  $H$  смуги «0». Якщо вбудовуємо «1», значення коефіцієнта  $H$  смуги «1» має бути більшим ніж значення коефіцієнта  $H$  смуги «0» і навпаки:

$$bit = \begin{cases} 1, & H_1 > H_0 + 0,06 \\ 0, & H_1 < H_0 - 0,06 \end{cases} \quad (9)$$

Якщо значення  $bit$  відповідає значенню, яке необхідно приховати залишаємо значення  $a$  незмінними, якщо ж ні, переходимо до пункту 3.

3. Вбудовується потрібний  $bit$ . Змінюється значення елементів, які входять в інтервали  $z_1 - z_2$  і  $z_3 - z_4$  за формулами:

при значенні  $bit$  який приймає значення «1»:

$$a_{k_y} = \begin{cases} \begin{cases} a_{k_y} - 1, & \text{при } z_1 \leq a_{k_y} < z_2 \\ a_{k_y} + 1, & \text{при } z_3 < a_{k_y} \leq z_4 \end{cases}, & \text{при } y = 1 \\ \begin{cases} a_{k_y} + 1, & \text{при } z_1 \leq a_{k_y} < z_2 \\ a_{k_y} - 1, & \text{при } z_3 < a_{k_y} \leq z_4 \end{cases}, & \text{при } y = 0 \end{cases}; \quad (10)$$

при значенні *bit* який приймає значення «0»:

$$a_{k_y} = \begin{cases} \begin{cases} a_{k_y} + 1, & \text{при } z_1 \leq a_{k_y} < z_2 \\ a_{k_y} - 1, & \text{при } z_3 < a_{k_y} \leq z_4 \end{cases}, & \text{при } y = 1 \\ \begin{cases} a_{k_y} - 1, & \text{при } z_1 \leq a_{k_y} < z_2 \\ a_{k_y} + 1, & \text{при } z_3 < a_{k_y} \leq z_4 \end{cases}, & \text{при } y = 0 \end{cases}. \quad (11)$$

Після виконання цього пункту здійснюється перехід до пункту 1.b і виконується алгоритм до тих пір, поки не буде виконана умова пункту 2.c. Коли умова виконана повертаються змінені значення *a* на вихідні позиції, та переходимо до пошуку наступної зони вбудовування, якщо ця зона виявилася останньою, зображення-контейнер готовий до передачі.

Таким чином, для підвищення рівня захищеності інформації в бездротових каналах зв'язку доцільно використовувати стеганографічні методи приховування даних. Найпоширенішим методом стеганографічного приховування даних є вбудовування інформації в зображення. Для підвищення стійкості вбудованих даних до атак стисканням інформацію потрібно вбудовувати в контури зображення. Розроблений метод вбудовує інформацію в контур зображення непрямим способом. Даний метод характеризується високою стійкістю до атак стисненням, має високу ймовірність безпомилкового вилучення прихованих даних.

## **2.12 Підвищення ефективності захисту доступу до інформації з використанням ідентифікаційної логіко-часової функції**

Бурхливий розвиток інформаційних технологій призвів до зростання відносної важливості окремих аспектів суспільного життя, зокрема будь-якої інформації. Інформація має певну цінність (може продаватись), вона не локалізована в просторі і може легко поширюватись. Інформація існує у різних формах: її можна зберігати на комп'ютерах, передавати обчислювальними мережами, роздруковувати або записувати на папері, а також озвучувати у розмовах. Використання комп'ютерних систем та мереж для вирішення різноманітних підприємницьких завдань, стратегічного розвитку, реалізації різноманітних зв'язків підприємств з їх партнерами, клієнтами, керуючими установами в On-line режимі дало можливість не обмежувати інформаційні потоки та інформаційні процеси межами окремого підприємства. Інформація та інформаційні системи, мережі, в яких функціонують підприємства, організації, установи, є їх надзвичайно важливими ресурсами [138]. З погляду безпеки всі види інформації потребують надійного захисту. Однак, управління доступом – ефективний метод комплексного захисту інформації, що регулює використання ресурсів інформаційної системи і включає в себе такий важливий елемент, як ідентифікацію користувача. Віднедавна, все більше уваги привертає біометрія, як одна з новітніх інформаційних технологій, в якій використовуються унікальні характеристики об'єктів ідентифікації та верифікації. Тому актуальним є питання захисту доступу до інформаційних ресурсів. З появою і розвитком інформаційних технологій актуальною стала проблема інформаційної безпеки, пов'язана із збереженням конфіденційності інформації, що обробляється та зберігається в комп'ютерних системах [139]. Управління та розмежування доступу до інформаційних ресурсів є одним із важливих аспектів інформаційної безпеки. Методи і системи захисту інформації, що спираються на управління доступом, виконують функції: ідентифікації користувачів; впізнання і встановлення достовірності користувача за обліковими даними; допуск до певних умов роботи згідно регламенту.

Існує три найпоширеніші види ідентифікації суб'єктів [140].

1) Парольна ідентифікація. Головна перевага паролної ідентифікації – простота реалізації з використанням пари логин-пароль. Головним недоліком такої ідентифікації є залежність її надійності від користувачів, точніше, від обраних ними паролів (так званий людський фактор).

2) Апаратна ідентифікація, з використанням ключів, токенів або карт, що перебувають в ексклюзивному користуванні суб'єктів ідентифікації. Головною перевагою такої ідентифікації є її досить висока надійність. Однак велика вартість таких пристроїв, ймовірність їх крадіжки у зареєстрованих користувачів, а також можливість дублювання знижує цікавість до засобів апаратної ідентифікації.

– Біометрична ідентифікація [141], з використанням унікальних властивостей та ознак людини, яких є два класи: 1) статичні, які ґрунтуються на фізіологічних унікальних характеристиках об'єктів (за відбитком пальця, за термограмою обличчя, за формою долоні, за сітківкою ока, за ДНК, за розташуванням вен на лицьовій стороні долоні і т. ін.), що практично не змінюються з часом; 2) динамічні, які ґрунтуються на поведінковій характеристиці суб'єктів, тобто побудовані на особливостях, характерних для підсвідомих рухів у процесі відтворення якої-небудь дії (за почерком, за клавіатурним почерком, за голосом і ін.). Головною перевагою біометричних технологій є найвища надійність, а основним недоліком – вартість устаткування.

В контексті сучасних інформаційних технологій захисту інформації біометрика – це прикладна галузь знань, яка використовує при створенні автоматизованих систем доступу унікальні ознаки людини. Всі перераховані підходи захисту доступу до інформації досить легко реалізувати в логіко-часовому середовищі, перетворивши всі необхідні параметри на логіко-часові функції (ЛЧФ) [142], яких є три функціонально повні класи, замкнуті відносно булевих операцій, спеціальної операції нерівнозначного віднімання та диференціювання. Наприклад, елементарна ЛЧФ першого класу, що між двома нулями приймає стале значення:



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

де  $t$  – поточне значення параметра часу,  $t_1$  – часова координата,  $T_1$  – тривалість відрізка існування.

ЛЧФ розглядаються на часовому проміжку  $[t_k, t_{k+1}]$ , дискретизованому за допомогою  $\Delta$ -інтервалу ( $\Delta$ -дискретизації) – мінімального часового інтервалу, довжиною  $\Delta_i$  ( $\Delta_i = t_{i+1} - (t_i + T_i)$ ) між двома часовими координатами ЛЧФ.

Головною перевагою паролльної системи захисту є її простота і звичність. Паролі давно вбудовані в системи і сервіси. При правильному використанні паролі можуть забезпечити прийнятний для багатьох підприємств рівень безпеки доступу до інформаційних ресурсів. Однак, надійність таких паролів можна значно підвищити, якщо використовувати не звичний набір букв та знаків, а деяке зображення, перетворене на ідентифікаційну логіко-часову функцію [143]. Було розроблено програмне забезпечення (**Модель ЛЧФ**), яке дозволяє виділяти контури довільних зображень з використанням традиційної математичної операції диференціювання у вигляді спеціальної логіко-часової функції. Загальний вигляд діалогового вікна програми наведено на рис. 1.

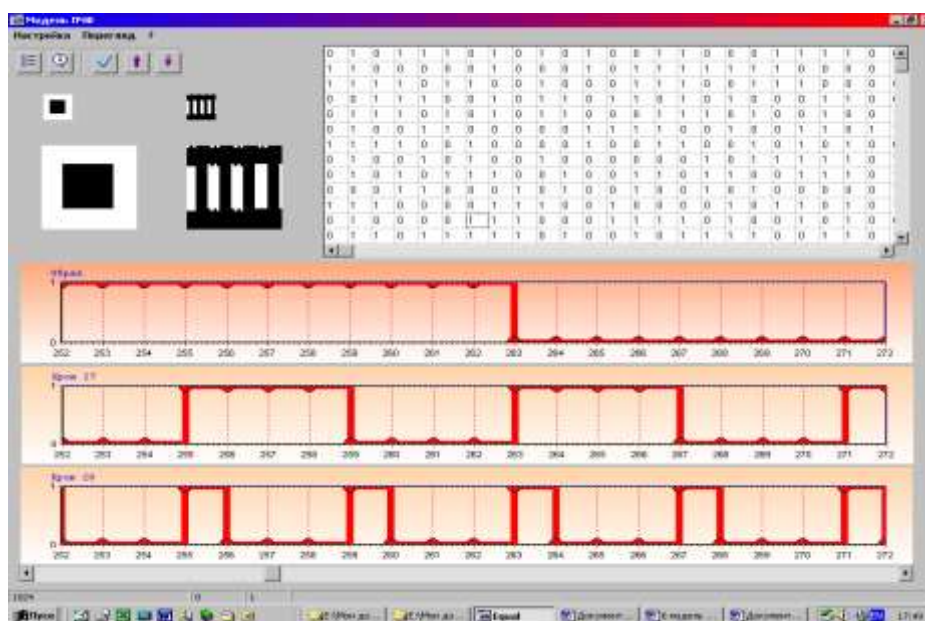



Рис. 1. Загальний вигляд вікна програми **Модель ЛЧФ**

Вікно має рядок заголовку з назвою програми, рядок меню і рядок панелі інструментів. Рядок меню містить два пункти: **Настройка**, **Перегляд**, що

використовуються для управління програмою. Панель інструментів містить кнопки, які найбільш часто використовуються. В першу чергу це:

- **Позначки**  – виводить цифри значень графіка (рис. 2);

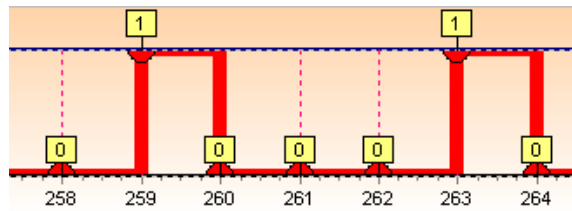





Рис. 2. Графік з позначками

- **Номер ітерації**  – дозволяє перейти на потрібний крок ітерації;
- **Нагору**  – перехід на попередній крок ітерації;
- **Донизу**  – перехід до наступного кроку ітерації;

Маємо ще три контекстних меню правої кнопки миші: меню зображення, меню таблиці і графіка. Останнє меню копіює потрібний графік в буфер обміну для подальшого його використання в інших додатках.

Нехай маємо деяку ЛЧФ  $k$ -значної логіки  $f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m)$ ,

де  $t_1, \dots, t_m$  - часові координати,

$T_1, \dots, T_m$  - відповідні відрізки існування,

$a_1, \dots, a_m$  - амплітуди, що відповідають даним відрізкам існування.

Тоді похідна вказаної функції визначається наступним чином:

$$f'(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m) = \begin{cases} (t - (t_k + i\Delta_i)) |a_{k,i+1} - a_{k,i}|, \text{ де } i - \text{порядковий номер} \\ \Delta - \text{інтервалу, } i = 0, \overline{\frac{T_k}{\Delta_i} + 1}, k = \overline{1, m} \\ 0, \text{ якщо } (t \leq t_1) \wedge (t_k + T_k + \Delta_i < t \leq t_{k+1}) \wedge \\ \wedge (t > t_m + T_m + \Delta_i), k = \overline{1, m} \end{cases} \quad (1)$$

Зауважимо, що у випадку двійкової логіки формула (1) дещо спроститься, оскільки амплітуди можуть приймати нульове або одиничне значення. Похідну довільної ЛЧФ можна зобразити графічно (рис. 3).

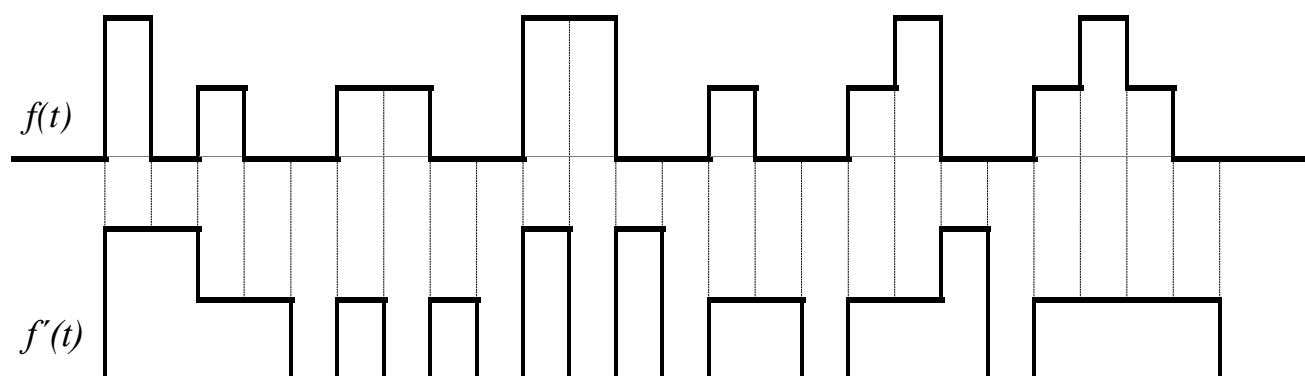
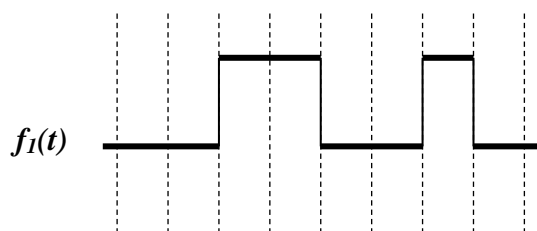


Рис. 3. Можливий варіант графічного знаходження похідної довільної ЛЧФ 3-значної логіки

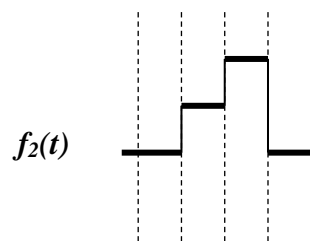
За необхідності можна посилити виділений контур зображення шляхом повторного диференціювання ідентифікаційної функції. В якості пароля користувача можна використати будь-яке зображення, відоме лише йому. Причому це зображення може бути як чорно-біле (бінарна ЛЧФ першого та другого класів), так і кольорове (ЛЧФ  $k$ -значної логіки першого-третього класів). Такий пароль у вигляді логіко-часової функції можна використовувати досить тривалий час, оскільки відтворити зображення за функцією-контуром практично неможливо. Більше того, існує можливість математичного дослідження швидкості зміни такого пароля.

Обліковий запис користувача – сукупність ідентифікатора і його пароля. В якості ідентифікатора можна використовувати спеціальну ідентифікаційну логіко-часову функцію, яка є нерівнозначною різницею ЛЧФ біометричних характеристик суб'єкта, ранжованих за мірою важливості. Ця функція є унікальною для даного користувача і може включати як статичні, так і динамічні ознаки і властивості та практично унеможливує її використання злоумисниками. Ідентифікують суб'єкт шляхом порівняння отриманої ідентифікаційної функції з еталонними зразками бази знань. За умови неповної ідентифікації здійснюється розширення бази знань, шляхом запису отриманого результату порівняння в пам'ять в якості нового зразка та визначення найбільш близького до отриманого еталонного зразка. Оскільки біометричні системи можуть працювати в двох режимах: верифікації, завдання якої звірити

відповідність вимірюваної біометричної характеристики записаному шаблону заявленого індивідуума; та ідентифікації, при якій вимірюється біометрична характеристика, що буде порівнюватись з базою раніше записаних шаблонів усіх «відомих» об'єктів, то це значно розширює можливості використання ідентифікаційної ЛЧФ. Слід відмітити, що в окремих випадках парольна система може виконувати ряд додаткових функцій, зокрема генерацію і розподіл короточасних (сеансових) криптографічних ключів. Важливим аспектом стійкості парольної системи є спосіб зберігання паролів в базі даних облікових записів: у відкритому виді; у вигляді згорток (хешування); зашифрованими за деяким ключем. Найбільший інтерес представляють другий і третій способи. Для більшої надійності збереження паролів пропонується зберігати не саму ідентифікаційну ЛЧФ, а відповідний їй поліном [144], тобто шифрування паролів. Наприклад, ЛЧФ другого класу, яка містить два відрізки існування, що не перетинаються між собою (рис. 4), відповідає поліном:  $P_6(t) = t^2 + t^3 + t^6$ , а монотонно зростаючій ЛЧФ, що зображена на рис. 5, відповідає поліном:  $P_2(t) = t + 2t^2$ .



**Рис. 4. Можливий варіант ЛЧФ з двома відрізками існування**



**Рис. 5. Можливий варіант зростаючої ЛЧФ**

При шифруванні паролів особливе значення має спосіб генерації і зберігання ключа шифрування і дешифрування бази даних облікових записів. Найбільш перспективними системами захисту доступу до даних сьогодні вважаються асиметричні системи з відкритим ключем, в яких шифрування і дешифрування виконують за допомогою різних ключів. Такі системи потребують значно довшого часу для обчислення, але не створюють труднощів під час розподілу ключів. Можна стверджувати, що для шифрування з метою передачі інформації

використовують саме асиметричні алгоритми. Для кращого приховування інформації та її захисту від модифікації, підробки або викривлення можна використовувати асиметричні алгоритми, які дозволяють виконувати шифрування даних користувача в різних режимах.

1. За допомогою таємного ключа відправника. Тоді всі, хто має відкритий ключ, можуть розшифрувати передане повідомлення.
2. Шифрування за допомогою відкритого ключа отримувача, тоді тільки власник таємного ключа, який є парним до цього відкритого, може розшифрувати таке повідомлення і отримати доступ до інформації.
3. За допомогою таємного ключа відправника і відкритого ключа отримувача переданого повідомлення. Тоді тільки потрібний користувач може отримати доступ до необхідних інформаційних ресурсів.

Оскільки не існує двох людей з однаковим біометричними характеристиками, то доцільно саме їх використовувати при побудові криптосистеми. Більше того, в ідентифікаційній ЛЧФ можна використовувати декілька характеристик, ранжованих за важливістю. Порівняльні характеристики найбільш уживаних біометричних систем наведено в таблиці 1. З точки зору безпеки, помилка хибного допуску є більш суттєвою, ніж помилка хибної відмови, яка впливає лише на зручність користування системою. Слід деталізувати, що до геометрії руки відносять: параметри долоні, рисунок вен, форму долоні. А до геометрії обличчя відносять 2D і 3D моделі та термограму. Оскільки при виділенні ознак використовується похідна ЛЧФ, яка виділяє контури зображень, то при побудові ЛЧФ-ключа, враховуючи ймовірність несанкціонованого допуску, доцільно використовувати такі 5 характеристик (від кращих до гірших): райдужка ока, сітківка ока, відбиток пальця, розміщення вен на долоні, 3D модель обличчя. Порівняльні характеристики біометричних систем наведено в таблиці 1. Причому, ключ відправника може містити його біометричні характеристики, а ключ для розшифрування повідомлення і доступу до інформації – характеристики отримувача.

## Порівняльні характеристики біометричних систем

№	Модель	Біометричний метод	Ймовірність хибної відмови	Ймовірність хибного допуску
1	Iriscan	Райдужка ока	0,0008	0,0007
2	Eyedentify ICAM	Сітківка ока	0,0001	0,4
3	FingerScan	Відбиток пальця	0,0001	1,0
4	Hitachi VeinID	Розміщення вен на долоні	0,0008	0,01
5	Vocord (2D)	3D модель обличчя	0,01	0,2

При побудові ключів криптоалгоритмів з використанням біометричних характеристик необхідно дотримуватись таких правил.

1. Для кожної біометричної характеристики суб'єкта доступу будуємо ЛЧФ  $f(t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m)$ , де  $t_1, \dots, t_m$  – часові координати;  $T_1, \dots, T_m$  – відповідні відрізки існування;  $a_1, \dots, a_m$  – амплітуди, що відповідають даним відрізкам існування; з використанням операції диференціювання [142, 143]. Зауважимо, що найкраща характеристика має амплітуду  $a = 5$  (райдужка ока), а найгірша –  $a = 1$ .

2. Одержуємо ЛЧФ-ключ, як результат нерівнозначного віднімання одержаних в попередньому пункті функцій.

3. Записуємо ЛЧФ-ключ у вигляді полінома, де коефіцієнт біля відповідного ступеня змінної  $t$  дорівнює значенню відповідної амплітуди  $a_i$ . Зауважимо, що даний ключ можна подати не тільки у вигляді полінома, а і як матрицю амплітуд розмірністю  $1 \times m$ .

Важливою характеристикою, яка визначає вибір необхідної біометричної системи, є її пропускну здатність. Під пропусконою здатністю розуміють таку

чисельність осіб, що потребують аутентифікацію, за якої робота системи із заданим показником помилки хибного доступу буде стабільною протягом деякого проміжку часу. Наприклад, нехай через біометричну систему допуску протягом години проходять  $N$  осіб. Якщо вважати допустимими 2 помилки системи протягом години, то пропускну здатність можна обчислити за формулою:

$$N \approx \sqrt{\frac{2}{FAR}}, \quad (2)$$

де  $FAR$  – помилка хибного допуску, яка виникає у випадку, коли суб'єкт було ідентифіковано невірно, тобто йому було поставлено у відповідність не той еталон. Слід відмітити, що паролі і ключі на базі ідентифікаційної ЛЧФ можна передавати по мережі у відкритому вигляді або без безпосередньої передачі інформації про пароль («з нульовим розголошенням»), оскільки вони мають високу криптостійкість. Схеми аутентифікації «з нульовим розголошенням» забезпечують можливість одного з пари суб'єктів довести істинність деякого твердження іншому, при цьому не повідомляючи йому ніякої інформації про зміст самого твердження. Наприклад, перший суб'єкт може переконати іншого, що знає певний пароль доступу до інформаційних ресурсів, насправді не передаючи тому жодної інформації про сам пароль. Що виключає можливість викрадення пароля зловмисником. Надійність паролів можна значно підвищити, якщо використовувати деяке зображення, перетворене на логіко-часову функцію. В якості ідентифікатора суб'єкта доступу до інформаційних ресурсів можна використовувати спеціальну ідентифікаційну логіко-часову функцію, яка є нерівнозначною різницею біометричних ЛЧФ характеристик користувача, ранжованих за мірою важливості. Унікальність ключів з біометричними характеристиками на базі ідентифікаційних ЛЧФ полягає у неможливості відновлення та читання повідомлення несанкціонованим користувачем, швидкому реагуванні на атаки та достатньо малому часі шифрування та дешифрування. Більше того, користувач-зловмисник не може видати себе за відповідного абонента. Використання таких ключів зводить можливість

порушення конфіденційності до мінімуму. Ключі з біометричними характеристиками на базі ідентифікаційних ЛЧФ можуть бути використані для підтвердження авторства та мають легку процедуру обміну і просте математичне дослідження, оскільки вони подаються у вигляді поліномів. Можна стверджувати, що досить легко керувати такими ключами у великій мережі.



## 2.13 Продвинутое использование Java Stream API

В первоначальных версиях языка Java не была видна перспектива его развития, хотя существенные изменения начались уже при переходе от версии Java 1.0 к версии Java 1.1. Были внедрены совершенно новые свойства, впоследствии ставшие характерными особенностями языка. Началом эпохи Java считается появление версии Java 2 (J2SE 1.2). Были добавлены графическая библиотека Swing и Collection Framework — коллекция интерфейсов и их реализаций, которая позволяет пользоваться большим количеством готовых структур данных. Обновились методы класса Thread, предназначенного для многопоточного программирования [145]. Значительные изменения происходят каждый раз с выходом новых версий языка, которые обновляются в последнее время каждые полгода. В результате мы имеем язык, являющийся очень комфортной платформой с точки зрения имеющихся в нём готовых решений и компонентов.

В то же время Java активно развивается и меняется также в сторону поддержки разных парадигм программирования. Начиная с JDK 8 в Java, помимо элементов структурного и объектно-ориентированного программирования, появились инструменты для работы со структурами данных в функциональном стиле - Stream API. Это позволило упростить работу с коллекциями, в частности, упростить операции фильтрации, сортировки и другие манипуляции с данными [147], [148], [149], [150], [151].

Ключевым понятием в Stream API является поток данных. Он представляет собой канал передачи данных из источника данных. Причем в качестве источника могут выступать как файлы, так и массивы и коллекции. Поэтому далее в этой статье потоки данных мы будем называть стрим.

В предыдущей публикации об использовании элементов функционального программирования в Java мы рассмотрели основы Stream API. А именно, создание стрима; применение преобразований к объектам класса Stream; использование лямбда-выражений, которые позволяют значительно сократить

запись выполняемых действий; сортировку элементов стрима; использование фильтров; терминальные операции; объекты `Optional`; стандартные реализации коллекторов для списка или множества; использование ссылок на методы [146].

В этой публикации мы рассмотрим продвинутые случаи использования стримов, а также приведём примеры реализации таких стримов и встроенных оптимизаций кода в Java.

### Ленивая обработка стримов

Прежде всего поговорим о **lazy invocation** - ленивом вызове на стадиях `stream`. Ленивый вызов одна из самых значительных оптимизаций скорости в стримах. Промежуточные операции называются ленивыми, если они будут вызваны только в случае необходимости для выполнения терминальной операции.

Например, объявим метод `wasCalled()`, который увеличивает внутренний счетчик на единицу каждый раз, когда этот метод вызывается.

```
private long counter;
private void wasCalled() {
    counter++;
}
```

Теперь вызовем метод `wasCalled()` внутри операции `filter()`:

```
List<String> list = Arrays.asList("abc1", "abc2",
"abc3");
counter = 0;
Stream<String> stream = list.stream().filter(element -> {
    wasCalled();
    return element.contains("2");
});
```

Так как в исходном списке содержатся три элемента, мы можем предположить, что `filter()` будет вызван трижды, и значение поля `counter` будет равно трём. Однако, если запустить этот код, значение в переменной `counter` не изменится, оно по-прежнему будет 0. Метод `filter()` не был вызван ни разу!

Причина этого - отсутствие терминальной операции.

Перепишем этот код, добавив `map()` и терминальную операцию `findFirst()`. Добавим также возможность отслеживать порядок выполнения методов с помощью вывода на экран.

```
List<String> list = Arrays.asList("abc1", "abc2",
"abc3");
Optional<String> stream = list.stream().filter(element ->
{
    System.out.println("filter() was called");
    return element.contains("2");
}).map(element -> {
    System.out.println("map() was called");
    return element.toUpperCase();
}).findFirst();
```

В результате выполнения, `filter()` будет вызван дважды, а метод `map()` всего один раз. Конвейер выполняется вертикально. В нашем примере первый элемент стрима не удовлетворил условия предиката фильтра. Затем мы вызвали `filter()` для второго элемента, который прошёл фильтр. Не выполняя `filter()` для третьего элемента, мы спустились по конвейеру вниз к методу `map()`. Операции `findFirst()` требуется только один элемент. Конкретно в этом примере ленивый вызов позволил нам избежать два вызова методов - один для `filter()` и один для `map()`.

Эта оптимизация может стать критической, если на одной из стадий стрима происходит обращение к базе данных или выполняется любая другая затратная операция.

Рассмотрим ещё один пример: имеется массив `ids` с идентификаторами сотрудников. Наша задача найти в базе данных первого сотрудника с зарплатой, более 10000, или вернуть `null`, если такой сотрудник не найден.

```
Integer[] ids = { 1, 2, 3, 4 };
Employee employee = Stream.of(ids)
    .map(employeeRepository::findById)
```

```

.filter(e -> e != null)
.filter(e -> e.getSalary() > 100000)
.findFirst()
.orElse(null);

```

Внешне может казаться, что метод `map`, который ищет сотрудника в базе данных посредством обращения к `employeeRepository`, будет вызван 4 раза, по одному разу для каждого идентификатора из массива исходных данных. На самом деле, стрим выполняет операцию `map` и две операции `filter` для каждого элемента по очереди. Сначала он выполняет все операции вплоть до терминальной для `id=1`. Допустим, зарплата сотрудника с этим `id` меньше 100000, обработка переходит к следующему элементу. Сотрудник с `id 2` удовлетворяет условиям обоих предикатов, поэтому стрим переходит к вычислению терминальной операции `findFirst()` и возвращает результат. Никаких операций над `id 3` и `4` производиться не будет.

Ленивая обработка стримов позволяет избежать обработку всех входных данных, если это не нужно. Это поведение становится ещё более важным, если речь идёт о бесконечном или очень большом потоке данных.

### **Порядок выполнения операций**

С точки зрения производительности, правильный порядок операций в стриме - один из наиболее важных аспектов в конвейере.

Рассмотрим следующий пример

```

List<String> list = Arrays.asList("abc1", "abc2",
"abc3");
long size = list.stream().map(element -> {
    wasCalled();
    return element.substring(0, 3);
}).skip(2).count();

```

При выполнении этого кода все операции будут выполнены трижды - для каждого элемента списка `list`. Это значит, мы вызвали `map()` три раза, но после `skip(2)` в стриме остаётся только один элемент, который нам и нужен. Значит, два

раза мы вызвали довольно затратный метод `map()` впустую.

Если мы поменяем `skip()` и `map()` местами, сначала будут пропущены первые два элемента стрима. Таким образом, `map()` будет выполняться только один раз.

```
List<String> list = Arrays.asList("abc1", "abc2",
    "abc3");
long size = list.stream().skip(2).map(element -> {
    wasCalled();
    return element.substring(0, 3);
}).count();
```

Отсюда следует правило: промежуточные операции, которые уменьшают размер стрима, должны размещаться перед операциями, которые применяются к каждому элементу. Поэтому мы должны размещать такие методы, как `skip()`, `filter()` и `distinct()` в начале цепочки конвейера.

### **Параллельные стримы**

До Java 8 параллелизация была достаточно сложной. `ExecutorService` и `ForkJoin` фреймворк несколько облегчали разработку, но детали использования этих инструментов по-прежнему не были широко доступны. Java 8 представила средства выполнения параллелизма в функциональном стиле.

`Stream API` позволяет создавать параллельные стримы, которые выполняют операции в параллельном режиме. Если источником стрима является коллекция или массив, параллельный стрим можно получить с помощью метода `parallelStream()`:

```
Stream<Product> streamOfCollection =
productList.parallelStream();
boolean isParallel = streamOfCollection.isParallel();
boolean bigPrice = streamOfCollection
    .map(product -> product.getPrice() * 12)
    .anyMatch(price -> price > 200);
```

Если источник стрима отличается от коллекции или массива, используется метод `parallel()`:

```

IntStream intStreamParallel = IntStream.range(1,
150).parallel();
boolean isParallel = intStreamParallel.isParallel();

```

Под «капотом» Stream API автоматически использует ForkJoin фреймворк, чтобы выполнять операции параллельно.

При использовании стримов в параллельном режиме, следует избегать блокирующих операций. Также рекомендуется использовать параллельный режим, когда операции выполняются за приблизительно одинаковое время для всех элементов. Если одна операция занимает значительно больше времени, чем другая, это может замедлить время выполнения всего приложения.

Из параллельного режима стрим может быть сконвертирован обратно в последовательный с помощью метода `sequential()`:

```

IntStream intStreamSequential =
intStreamParallel.sequential();
boolean isParallel = intStreamSequential.isParallel();

```

### Улучшения в Stream API в Java 9

Stream API впервые появился в Java 8, а последующие версии языка только продолжили улучшать этот функционал. Сделаем краткий обзор нововведений в Stream API, добавленных в Java 9.

#### **takeWhile**

Метод `takeWhile` один из новых методов в Stream API. Как следует из его имени, он берёт элементы из стрима до тех пор, пока указанное условие выполняется. В тот момент, когда условие становится ложным, этот метод прекращает выполнение и возвращает новый стрим только с теми элементами, которые удовлетворяют предикату. Другими словами, это фильтр с условием.

Рассмотрим это на примере:

```

Stream.iterate(1, i -> i + 1)
    .takeWhile(n -> n <= 10)
    .map(x -> x * x)
    .forEach(System.out::println);

```

Мы создали бесконечный стрим и используем метод `takeWhile`, чтобы выбрать числа, которые меньше или равны 10. После этого возводим эти числа в квадрат и выводим на экран.

Может возникнуть вопрос, в чём разница между `takeWhile` и `filter`. В конце концов, добиться тех же результатов можно и следующим методом:

```
Stream.iterate(1, i -> i + 1)
    .filter(x -> x <= 10)
    .map(x -> x * x)
    .forEach(System.out::println);
```

В этом конкретном случае оба метода производят одинаковый результат, но это не всегда так работает. Проиллюстрируем разницу другим сценарием:

```
Stream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0)
    .takeWhile(x -> x <= 5)
    .forEach(System.out::println);
```

```
Stream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0)
    .filter(x -> x <= 5)
    .forEach(System.out::println);
```

Мы имеем два идентичных стрима, в которых данные фильтруются методами `takeWhile` и `filter` соответственно. Сравним результаты выполнения кода.

Первый вариант выведет:

```
1
2
3
4
5
```

Второй вариант (с `filter`) выведет:

```
1
2
```

3  
4  
5  
0  
5  
4  
3  
2  
1  
0

Как видим, `filter()` применяет предикат на всю последовательность. `takeWhile`, напротив, перестаёт вычислять предикат, как только встречает первый элемент, не удовлетворяющий условию.

### **dropWhile**

Метод `dropWhile` делает примерно то же самое, как и `takeWhile`. Если `takeWhile` берёт элементы в стрим, пока условие выполняется, то `dropWhile` пропускает элементы до тех пор, пока условие выполняется.

Рассмотрим это на примере:

```
Stream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0)
    .dropWhile(x -> x <= 5)
    .forEach(System.out::println);
```

Исходный стрим такой же, как и в предыдущем примере. Единственная разница - мы используем `dropWhile` вместо `takeWhile`. Мы выбрасываем элементы пока они меньше или равны 5. Результатом выполнения будет такая последовательность:

6  
7  
8  
9  
0



9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

Во второй половине последовательности присутствуют числа, которые меньше или равны пяти. Поскольку они находились в стриме ПОСЛЕ первого элемента, который не удовлетворил предикату. Поэтому метод `dropWhile` перестал «выбрасывать» элементы, как только встретил первую шестёрку.

### **ofNullable**

Это ещё одно нововведение в Stream API - эффективный способ не только избежать распространённого `NullPointerException`, но и писать чистый код.

Рассмотрим его работу на примере:

```
Stream<Integer> result = number != null
    ? Stream.of(number)
    : Stream.empty();
```

Предположим, что `number` - некоторый объект класса `Integer`, полученный из графического интерфейса, по сети, из файловой системы или любого другого ненадёжного источника. `number` может иметь значение `null`.

Если мы не хотим создавать стрим с `null`-элементом, то далее в обработке это может привести к нежеланному `NullPointerException`. Во избежание этой ситуации, мы можем сделать проверку на `null` и вернуть пустой стрим.

Приведенный выше пример, конечно, искусственный. Если похожий сценарий случается в реальной жизни, код может очень быстро стать запутанным и непонятным.

Вместо такой проверки мы можем использовать метод `ofNullable`:

```
Stream<Integer> result = Stream.ofNullable(number);
```

Новый метод возвращает пустой `Optional`, если получает `null`, тем самым избегая исключений в `Runtime` в тех сценариях, в которых обычно это случается, как например здесь:

```
Integer number = null;  
Stream<Integer> result = Stream.ofNullable(number);  
result.map(x -> x * x).forEach(System.out::println);
```

Итак, `Stream API` мощный, но простой в понимании набор инструментов для обработки последовательности данных. Его правильное использование позволяет значительно уменьшить количество излишнего кода, создавать более читаемые программы и улучшать производительность приложений.

**SECTION 3. ELECTRICAL ENGINEERING****3.1 Technological information fractals**

Законы развития сложных технических систем предусматривают повышение степени их идеальности, вепольности и интеллектуализации. Под идеальными системами понимают системы габариты, масса, стоимость, энергопотребление которых стремятся к нулю при идеальном выполнении всех возложенных на них функций. Под повышением степени вепольности понимают стремление системы стать как бы простейшей, неразборной, неремонтируемой (вещество-поле). Исчерпав возможности индивидуального развития, подсистема интегрируется с системой, система – с надсистемой. Например, ещё недавно состоявший из десятков транзисторов операционный усилитель постоянного тока интегрируется в неразборную, неремонтируемую микросхему, а полупроводниковый преобразователь электропривода, имеющий в своём составе систему импульсно-фазового управления, систему авторегулирования, систему защиты и сигнализации, систему питания и систему датчиков регулируемых параметров интегрируется в неразборный, неремонтируемый микропроцессор. Интеграция идет снизу – вверх по иерархической вертикали сложной технической системы. Повышение степени интеллектуализации систем связано с переходом к искусственному интеллекту. Движение направлено сверху вниз по иерархической вертикали.

Повышение степени идеальности является универсальной целью при постановке задач оптимизации. Повышение степени вепольности и интеллектуализации - это средства для достижения цели. Одним из способов повышения степени интеллектуализации сложных технических систем является увеличение мерности решетчатого информационного пространства технологических сигналов.

Для выявления скрытой информации, содержащейся во временных рядах экспериментальных данных, используют спектральный анализ. Спектр частот получают в результате разложения исходной функции, зависящей от времени, в базис некоторой периодической функции. Чаще всего используют спектр Фурье, основной смысл которого заключается в том, что исходную непериодическую функцию произвольной формы, которую невозможно описать аналитически, представляют в виде набора синусоид или косинусоид с различной частотой, амплитудой и начальной фазой. Каждая синусоида, полученная в результате разложения в ряд Фурье, является спектральной составляющей или гармоникой. Спектральные составляющие представляют в виде графика, на котором по горизонтальной оси откладывают круговые частоты, а по вертикали – амплитуды спектральных составляющих. Гармоника с нулевой частотой во временном представлении вырождается в прямую линию.

Вейвлет-преобразование сигналов является обобщением спектрального анализа. Так же, как и преобразование Фурье, оно переводит сигнал из временного представления в частотно-временное. Разложение исходной функции производится в базис непериодической вейвлет-функции. Преобразование включает сдвиги и масштабирование функции-прототипа, то есть, вейвлет-преобразование по своей сути является фрактальным.

Существует более простой способ перевода сигнала из временного в частотно-временное представление. Обычные временные ряды технологических параметров требуют двух измерений – времени и значения контролируемого параметра. Назовем такой временной ряд двумерным. Его графическое представление – плоскость. Мерность такого временного ряда можно увеличить, совместив ось астрономического времени с осью времени усреднения. Формально для этого в таком ряде необходимо измерять астрономическое время равное времени усреднения и технологический параметр. Ряд, который выглядит как двумерный, на самом деле становится трехмерным за счет совмещения шкалы времени и шкалы времени усреднения. Величина обратная

текущему времени и времени усреднения сигнала является частотой. Поэтому, перевод сигнала в частотную область производят возведением отсчетов по оси времени и времени усреднения в минус первую степень.

В многомерном решетчатом информационном пространстве различают информационные линии, поля и объемы. Они состоят из информационных узлов, соединенных между собой отрезками времени. Информация содержится как в узлах, так и в межузловых промежутках. Информационные узлы могут содержать несколько информационных точек, которые формируют с помощью датчиков технологической информации. Время эквивалентирования при формировании информационных точек принимают кратным дискретности  $\Delta t$  показаний датчика первичной технологической информации. Временной размер информационных точек равен  $m \cdot \Delta t$ , где  $m$  - это кратность показаний датчика технологической информации.

На отрезке времени от нуля до одной секунды трехмерного ряда содержится информация высокочастотной области процесса с частотой от бесконечности до 1 Гц. На отрезках времени от одной секунды до бесконечности содержится информация о низкочастотной области с частотами от 1 Гц до нуля. Так же, как и при разложении в ряд Фурье, каждую спектральную составляющую представляют в виде отсчета, положение которого по горизонтали соответствует не частоте, а полосе частот. Сам отсчет при таком спектральном анализе определяется не амплитудой гармоник, а средними или среднеквадратическими значениями уровней спектральных полос. Спектральные составляющие образуют спектр в виде графика с осью частот направленной от бесконечности к нулю.

Трехмерный временной ряд с совмещенными осями астрономического времени и времени усреднения выглядит следующим образом

$$x_1, (x_1+x_2)/2, (x_1+x_2+x_3)/3, \dots (x_1+x_2+\dots+x_n)/n.$$

Это ряд состоит из первых частичных сумм исходного двухмерного ряда, поделенных на количество соответствующих слагаемых. Такой ряд является

информационной линией многомерного решетчатого информационного пространства. Назовем его информационным фракталом.

С помощью трехмерных ортогональных векторов – фракталов формируют решетчатое информационное поле. По горизонтали в информационных узлах строк располагают сдвинутые на шаг фракталы. По вертикали, в информационных узлах столбцов образуются двухмерные временные ряды информационных полос с нарастающим вплоть до бесконечности временным размером этих полос. Структурно, используемые для формирования информационного решетчатого пространства структуры, имеют подобие между собой. Каждый ортогональный вектор можно считать исходным рядом со своими трехмерными ортогональными векторами. На этом основании трехмерные временные ряды с совмещенными осями времени и времени усреднения или эквивалентирования можно считать фракталами решетчатого информационного пространства сигналов технологической информации. Для стационарных случайных процессов это фракталы математического ожидания, а для нестационарных случайных процессов это фракталы среднего.

Фракталы могут быть задействованы для спектрального анализа как низкочастотных так и высокочастотных областей процессов. Все зависит от временного размера информационных точек. Информационное решетчатое поле представлено в табл. 1.

Таблица 1. Вид информационного решетчатого поля

Двухмерный временной ряд	Спектральные информационные полосы			
$x_n$	$(x_n+x_{n+1})/2$	$(x_n+x_{n+1}+x_{n+2})/3$	...	$(x_n+x_{n+1}+...x_{2n-1})/n$
...	...	...	...	...
$x_2$	$(x_2+x_3)/2$	$(x_2+x_3+x_4)/3$	...	$(x_2+x_3+...x_{n+1})/n$
$x_1$	$(x_1+x_2)/2$	$(x_1+x_2+x_3)/3$	...	$(x_1+x_2+...x_n)/n$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	...	<b>n</b>

Нижняя строка - это индексы информационных полос поля. Информационное поле по диагонали делится на две части. Одна часть - это текущая информация с индексами информационных точек от единицы до  $n$ . Вторая часть - это предварительно накопленная информация с индексами информационных точек от  $n+1$  до  $2n-1$ . Таким образом, временной размер информационного поля равен удвоенному значению произведения  $n \cdot m \cdot \Delta t$ , т.е.  $2n \cdot m \cdot \Delta t$ .

Рассмотрим возможность использования информационных фракталов в электротехнических комплексах на примере защиты асинхронных короткозамкнутых двигателей (АД) от симметричных перегрузок. При случайном характере изменения нагрузок электродвигателей пользуются эквивалентными величинами. Произвольно изменяющиеся действующие значения токов нагрузки заменяют эквивалентным током  $I_{\text{эк}}$ , который вызывает такой же нагрев электродвигателя как и изменяющиеся токи.

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}.$$

Если все отрезки времени  $t_i$  считать одинаковыми, то формула эквивалентного тока примет вид

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}{n}}.$$

Квадрат эквивалентного тока  $I_{\text{эк}}$  за время эквивалентирования  $n \cdot m \cdot \Delta t$  будет равен  $I_{\text{эк}}^2 = (I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2)/n$ .

Эквивалентное значение действующего тока  $I_{\text{эк}}$  асинхронного двигателя при переменной нагрузке сравнивают с номинальным значением тока  $I_{\text{ном}}$  двигателя. Считается, что двигатель может работать, как угодно долго, если  $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{эк}}$ , или  $I_{\text{ном}}^2 \geq I_{\text{эк}}^2$ . Если выбрать время эквивалентирования, измеряемое в секундах, то становится невозможным выявление незначительных часовых перегрузок. Если выбрать время эквивалентирования измеряемое часами, то

становится невозможным выявление аварийных кратковременных перегрузок пусковыми токами. Широта масштабности анализа заключается в том, что вывести из строя асинхронный двигатель могут многократные пусковые токи  $I_{пуск}$  равные  $I_{пуск} = (5...7) \cdot I_{ном}$ , допустимое время работы с которыми, при заторможенном роторе, находится в пределах 10...15 секунд и длительные, незначительные перегрузки  $I = (1,05...1,1) \cdot I_{ном}$ , допустимое время работы с которыми измеряется часами. Следовательно, необходимо контролировать весь диапазон времени допустимых перегрузок, который определяется 3...5 постоянными времени нагрева.

Перегрузочная способность электродвигателя при симметричных токах, по стандарту МЭК определяется зависимостью между сверхтоком и допустимым временем его прохождения  $t_{дон} = A / (k_I^2 - 1)$ , где,  $A$  – тепловая постоянная времени охлаждения статора,  $t_{дон}$  – допустимая длительность перегрузки,  $k_I$  – кратность сверхтока,  $k_I = I_{дв}/I_{ном}$ . Для электродвигателей, генераторов, трансформаторов, кабелей, коммутирующей аппаратуры при аварийной перегрузке сигнал на срабатывание выдается с обратно зависимой от тока перегрузки выдержкой времени (чем больше ток перегрузки, тем меньше выдержка времени на отключение). Кривая перегрузочной способности в зависимости от времени является индикатором перехода из режима нормальной работы в аварийное состояние.

При отсутствии сведений о тепловой постоянной времени охлаждения статора АД в первом приближении, можно использовать минимально допустимую постоянную времени охлаждения статора. Исходя из требований ГОСТ Р 52776-2007 пункт 9.3.3: «трехфазные двигатели переменного тока мощностью не менее 0,55 кВт с косвенным охлаждением обмоток статора должны выдерживать 1,5 кратный номинальный ток, в течение двух минут», можно определить ориентировочно постоянную времени охлаждения статора по выражению  $A = t_{дон} / (k_I^2 - 1)$ , где  $t_{дон} = 120$  с – допустимое время работы при кратности тока  $k=1,5$ ,  $A = 120 (1,5^2 - 1) = 150$  [152].



Зная значение величины  $A$  можно записать выражение индикатора  $k_I$  состояния для ряда, с помощью которого контролируют переход электродвигателя из предаварийного в аварийное состояние по выражению

$$k_I^2 = (150/t_{don}) + 1.$$

Задаваясь временем перегрузки электродвигателя  $1, 2, 3 \dots n$  секунд, находим соответствующие им значения квадратов перегрузочной способности электродвигателя.

Пусть временной размер информационных точек составляет одну секунду. В этом случае временной размер спектральных полос также станет равным одной секунде, а временной размер всего ряда (фрактала) по числу спектральных полос -  $n$  секунд. Индексы спектральных полос исходного фрактала совпадут со шкалой отсчета времени в секундах. Для длительных симметричных перегрузок электродвигателя временной размер фрактала составит примерно  $(5..7)10^3$  секунд. Это значит, что фрактал будет содержать столько же информационных узлов. Для уменьшения количества информационных узлов информационного поля, задействованных в анализе, используют спектральные полосы с индексами, соответствующими логарифмической или степенной шкале. Выбор неравномерной шкалы связан с желанием иметь примерно одинаковую точность по всему временному диапазону контролируемых перегрузок. Количество информационных узлов спектральных полос также ограничивают в количестве равному индексу информационной полосы или числу слагаемых частичных сумм в соответствующих информационных полосах [153, 154].

Квадраты тока  $I_{эж}^2$  в информационных узлах спектральных полос делят на квадрат номинального ток  $I_{ном}^2$  двигателя и частное от деления сравнивают со значениями  $k_I^2$  индикатора состояния. Условием отсутствия перегрузки является выражение:  $k_I^2 \geq I_{эж}^2 / I_{ном}^2$ .

При переходе из одного состояния в другое фиксируют время эквивалентирования, которое дает полезную информацию и позволяет оценить характер нагрузки, которая привела к аварийной остановке.

Функционирование электротехнических комплексов предусматривает взаимодействие материального, энергетического, финансового и информационного потоков. Решетчатые информационные поля позволяют осуществлять мониторинг состояния потоков сложных технических систем при стохастическом характере изменении возмущающих воздействий. При этом под мониторингом состояния понимают процесс наблюдения, анализа и представления результатов перехода количественных показателей в качественные с использованием шкалы времени [155, 156].

В качестве примера рассмотрим процесс мониторинга теплового состояния электротехнического оборудования при стохастическом характере изменения значения и экспозиции нагрузки. Состояние электротехнического оборудования по тепловой нагрузке можно классифицировать как нормальное, предаварийное, аварийное. Основным предметом наблюдения является время, остающееся до момента перехода оборудования из предаварийного состояния в аварийное. Время, остающееся до перехода, определяют с помощью циклического пошагового прогнозирования изменения квадратов перегрузки в информационных полосах. Отсчет времени ведут по числу шагов прогноза до момента, когда прогнозное значение квадрата перегрузки сравняется или превысит значение индикатора состояния.

Процесс мониторинга состояния сопровождается представлением результатов в центры принятия решений. Для визуализации процесса мониторинга на графике показывают кривые индикаторов аварийного и предаварийного состояния и кривую текущего значения квадрата перегрузки в зависимости от астрономического времени, ось которого совмещена с осями времени допустимой перегрузки, времени усреднения или времени эквивалентирования с выделением точки минимального времени перехода от количества к качеству. Основная информация содержится в кривой времени, остающегося до перехода от количества к качеству, в зависимости от времени эквивалентирования, которое фиксируется при аварийном отключении.

**SECTION 4. ELECTRONICS****4.1 Frequency transducers of gas concentration for the diagnosis of strains of bacteria *Helicobacter pylori***

One of the directions of increasing the efficiency of diagnostics of various diseases using the latest methods and means, as well as a more complete and versatile analysis of signs, is an urgent area of modern medicine. The non-invasive method of analyzing the patient's exhaled air has recently attracted increased interest. To date, the definitions of various strains of bacteria *Helicobacter pylori* (*H. pylori*) acquired widespread importance due to its prevalence and great role in the development of many serious gastrointestinal diseases [157-159].

In medical practice, modern means of diagnosis of *Helicobacter pylori* infection are used and a new anti-infectious strategy for the treatment of gastroduodenal diseases is used [160]. Currently from methods of respiratory diagnostics *H. pylori* predominantly non-invasive C<sub>13</sub>-urease breath test, which has a high diagnostic reliability. An alternative method of respiratory diagnostics is a method based on the determination of ammonia (NH<sub>3</sub>) in the exhaled air by the alveoli and the concentration of ammonia coming from the stomach, when assessing the total concentration of ammonia [161].

A promising direction in the construction of gas concentration measuring transducers for respiratory diagnostics is the use of gas concentration frequency transducers based on the reactive properties of transistor structures with negative differential resistance (NDR) [162, 163]. This type of transducers allows solving the problem of using analog-to-digital transducers, since it implements the method of conversion "informative signal - frequency", which is one of the best for further processing on a computer [164]. Theoretical and experimental studies have shown that using the reactive properties of semiconductor devices and transistor structures in which there is a negative differential resistance,

In the course of analyzing the optimal design of the gas concentration transducer, it was concluded that it is advisable to use the frequency method of converting information. This method makes it possible to increase the sensitivity of measuring the monitored parameter, in particular  $\text{NH}_3$ , in diagnostic medical systems, as well as to ensure high noise immunity of the informative signal.

In principle, self-oscillating transistor structures with negative differential resistance are a transistor analogue of the negatron. The I-V characteristic of such structures has a falling section, which corresponds to a negative differential resistance, which is provided by internal feedback and serves as a compensation for energy losses at the active resistances of the circuit. The complex resistance of such a structure, depending on the type of its current-voltage characteristic, has a capacitive or inductive character, and the value depends on the voltage applied to its input [168]. When such a structure is connected to an inductance, a resonant oscillatory circuit is formed. If the magnitude of the voltage drop and the magnitude of the complex resistance of the transistor structure depends on the magnitude of the measuring parameter,

In fig. 1 shows a schematic diagram of a metal-oxide (MOX) based gas concentration transmitter with a sensitive element to  $\text{NH}_3$ . The element GGS4430T from UST Umwelt Sensor Technik GmbH is used as a gas sensitive element. Finding the optimal operating power point for such a circuit is carried out using two constant voltage sources: supply voltage  $U_2$  and control voltage  $U_1$  (Fig. 1) [169].

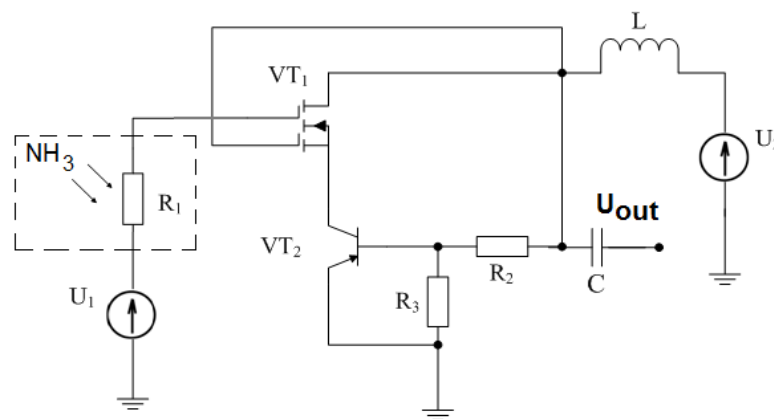


Figure 1. Frequency transducer of gas based on transistor structure with NDR for the diagnosis of strains of the bacteria *Helicobacter Pylori*.

When the gas concentration changes, the conductivity of the sensitive element, which adsorbs the  $\text{NH}_3$  molecules, changes, which in turn changes the active and reactive components of the impedance of the transistor structure. The reactive component of the impedance of the transistor structure has a capacitive character.

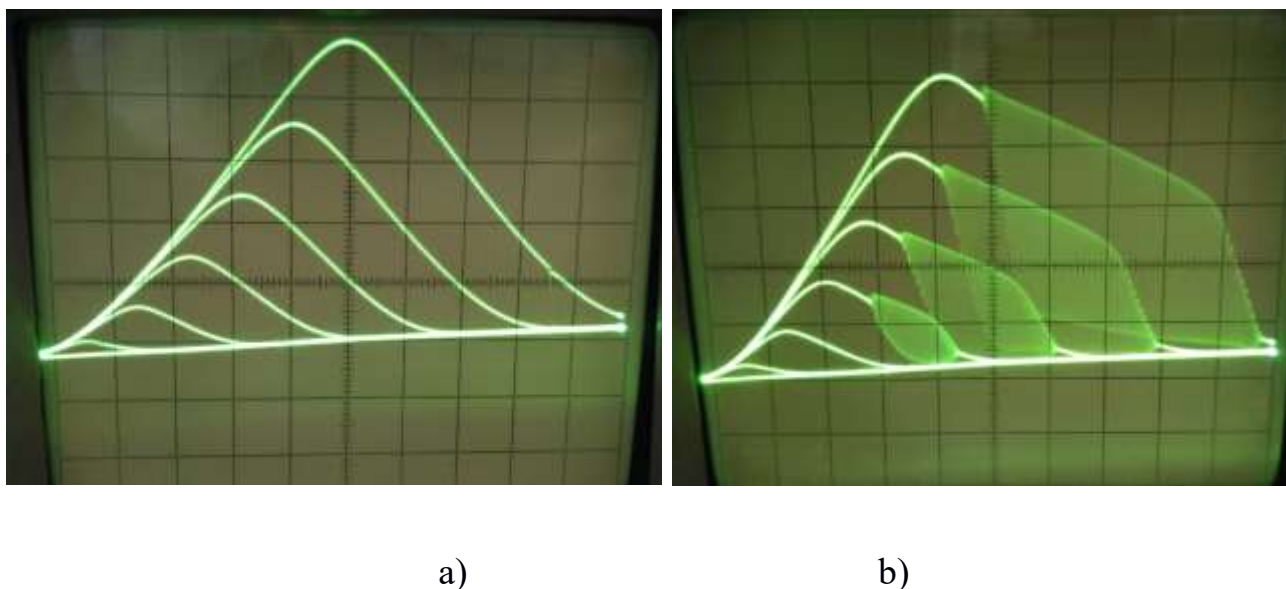


Figure 2. Static (a) and dynamic (b) I-V characteristic of a frequency transducer of gas concentration.

This capacitance is part of the total capacitance and arises at the drain electrodes of the two-gate MOS transistor and the collector of the bipolar transistor. This capacitance together with the inductance  $L$  form a resonant oscillatory circuit, which, taking into account the above, has a resonant oscillation frequency dependent on the gas concentration. Figure 2 shows a family of experimental static and dynamic volt-ampere characteristics of a gas concentration frequency transducer.

To create a mathematical model of a frequency transducer for gas concentration in Fig. 3 shows a nonlinear equivalent circuit of a frequency transducer.

On the nonlinear equivalent circuit of the frequency transducer of ammonia concentration, the elements are designated as follows:  $U_1, U_2$  – power supplies;  $L$  – inductance;  $R_1(C)$  – gas sensitive MOX element;  $R_4$  – internal resistances of power supplies;  $R_2$  and  $R_3$  – load resistances of drain-source and base-collector transitions of



state variables, all capacities are presented in the form of independent voltage sources, and inductances in the form of current sources [170], and the following simplification is also made:  $I_{bt} = (I_f - I_r) / QB$  where  $QB$  – coefficient of imperfection of bipolar transistor junctions. Having chosen the directions of bypassing the contours and designating the corresponding currents, we write the system of equations according to Kirchhoff's laws. We use the resulting system of equations to analyze the circuit using the state variable method.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_L = U_1 - (i_{R_2}(R_2 + R_{Cc}) + i_{R_3}R_3 - i_LR_4); \\ i_{R_3} = i_{R_2} - i_{R_b}; \\ i_{R_{ds}} = -U_{Cds} / R_{ds}; \\ i_{c_d} = (U_{c_s} - U_{Cds} - U_{c_d}) / R_t; \\ i_{R_d} = U_{Cds} / R_d; \\ i_{R_2} = i_{c_d} + i_{R_d} + i_L; \\ i_{R_b} = (-U_{c_c} - i_{R_c}R_c - i_{R_3}R_3) / R_b; \\ i_{R_c} = (-R_1(C)(i_{c_d} + i_{c_s}) - i_{R_e}(R_e + R_s) - (U_2 + U_{c_s} + U_{c_c} + U_{c_e})) / R_c; \\ i_{R_1} = i_{c_d} + i_{c_s}; \\ i_{c_s} = -I_{pt} - i_{R_{ds}} + i_{c_{ds}} + i_{R_e}; \\ i_{c_{ds}} = i_{R_d} + I_{pt} - i_{c_d} + i_{R_{ds}}; \\ i_{c_c} = i_{R_c} + I_{bt} - I_{dr}; \\ i_{c_e} = i_{R_e} + I_{bt} + I_{df}; \\ i_{R_e} = i_{R_c} - i_{R_b}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Assuming that the corresponding values of the voltages across the capacitors and the current through the inductance are given, we solve the system of equations (1) with respect to the following values:  $U_L$ ,  $i_{c_d}$ ,  $i_{c_s}$ ,  $i_{c_{ds}}$ ,  $i_{c_c}$ ,  $i_{c_e}$ , by making these substitutions:

$$A_1 = \frac{-U_{Cds} + U_{c_s} - U_{c_d}}{R_t} + I_{pt} + \frac{U_{c_d}}{R_d} - \frac{U_{Cds}}{R_{ds}}; \quad A_2 = I_{bt} + I_{df}; \quad A_3 = U_2 + U_{c_s} + U_{c_c} + U_{c_e}; \quad A_4 = i_{c_d};$$

$$A_5 = -R_1(C)A_4 + I_{pt} - A_1 - \frac{U_{Cds}}{R_{ds}} - A_3, \quad A_6 = R_e + R_s + R_1(C); \quad A_7 = 2U_{Cds} + U_{c_e} + U_{c_d} + U_{c_c};$$

$$A_8 = \left( \frac{U_{c_s} - U_{Cds} - U_{c_d}}{R_t} + \frac{U_{c_d}}{R_d} + i_L \right) (R_2 + R_3); \quad A_9 = 1 - A_6 - \frac{A_6}{R_b} (2R_2 + R_3),$$

$$A_{10} = A_5 + A_6A_7 + A_6A_8 + \frac{A_6U_{c_c}(2R_2 + R_3)}{R_b}; \quad A_{11} = \frac{A_6(2R_2 + R_3)}{R_b}; \quad A_{12} = \left( A_4 + \frac{U_{c_d}}{R_d} \right) (R_2 + R_3);$$

$$A_{13} = U_{C_c} A_9 + A_{10}; \quad A_{14} = -A_7 A_9 - A_{10} + A_4 A_9 - \frac{U_{C_d}}{R_d} A_9; \quad A_{15} = A_9(2R_s + R_e); \quad A_{16} = A_{11} R_3 + A_9 R_3;$$

$$A_{17} = \frac{-U_{C_c} A_9 - A_{10} - 2A_{14} R_b - A_{15} R_b (I_{bt} + I_{pt}) + A_5 A_1 R_b + A_{15} R_b I_{dr} + \frac{A_{15} R_b U_{Cds}}{R_{ds}}}{2A_{16} R_b + A_{11} R_3 + A_9 R_3}.$$

$$\begin{cases} i_{c_d} = A_4; \\ i_{c_c} = \frac{A_{10} + A_{11} R_3 A_{17}}{A_9 R_C}; \\ i_{c_e} = \frac{A_{14} + A_{16} A_{17}}{A_{15}} + I_{bt} - I_{dr}; \\ i_{c_s} = \frac{A_{14} + A_{16} A_{17}}{A_{15}} + I_{pt} - A_1 - \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}; \\ i_{c_{ds}} = A_1; \\ U_L = U_1 - (A_{12} + i_L (R_2 + R_3 + R_4)) + A_{17}. \end{cases} \quad (2)$$

Since the voltages and currents of the gas concentration frequency transducer circuit change over time, then, given that the capacitance current and voltage across the inductor are described by the expressions:  $i_c = C \frac{dU_c}{dt}$ ,  $U_L = L \frac{di_L}{dt}$ . If we take into account that each instantaneous value of voltage and current in the equivalent circuit is a function of time, then we can write the left-hand sides of the equations in the form of first-order differential equations and rewrite system (2) in the form of a system of equations (3).

Considering that the system of equations (3) contains terms that describe nonlinear elements (current sources), the system is nonlinear. Non-linear circuit elements describe the currents of non-linear internal sources of circuit elements. The dynamic model of the autogenerating secondary transducer of gas concentration (3) makes it possible to determine the value of the output signal frequency depending on the change in gas concentration at any time.



$$\left\{ \begin{array}{l} C_d \frac{dU_{C_d}(t)}{dt} = \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t}; \\ C_c \frac{dU_{C_c}(t)}{dt} = \frac{U_{C_e}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t} + I_{bt} - I_{dr}; \\ C_e \frac{dU_{C_e}(t)}{dt} = A_1 + I_{bt} - I_{dr}; \\ C_s \frac{dU_{C_s}(t)}{dt} = -I_{pt} - \frac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}} + A_3; \\ L \frac{di_L(t)}{dt} = U_2 - i_L(t) \cdot R_4 - \frac{U_{C_e}(t) + U_{C_c}(t) + U_{C_s}(t)}{R_e + R_s}; \\ C_{eqv}(t) \frac{dU_{C_{ds}}(t)}{dt} = \frac{U_{C_d}(t)}{R_d} + I_{pt} - \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t} + \frac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}}. \end{array} \right. \quad (3)$$

The verification of the developed mathematical model, carried out in the Maple 13 environment [171], makes it possible to verify its adequacy. The calculation shows that in the presence of a certain level of gas concentration, sinusoidal oscillations appear at the output of the circuit and their frequency depends on the level of gas concentration ( $\text{NH}_3$ ). So, in fig. 4 shows the graphs of oscillations at the output of the frequency transducer at three values of the gas concentration ( $\text{NH}_3$ ).

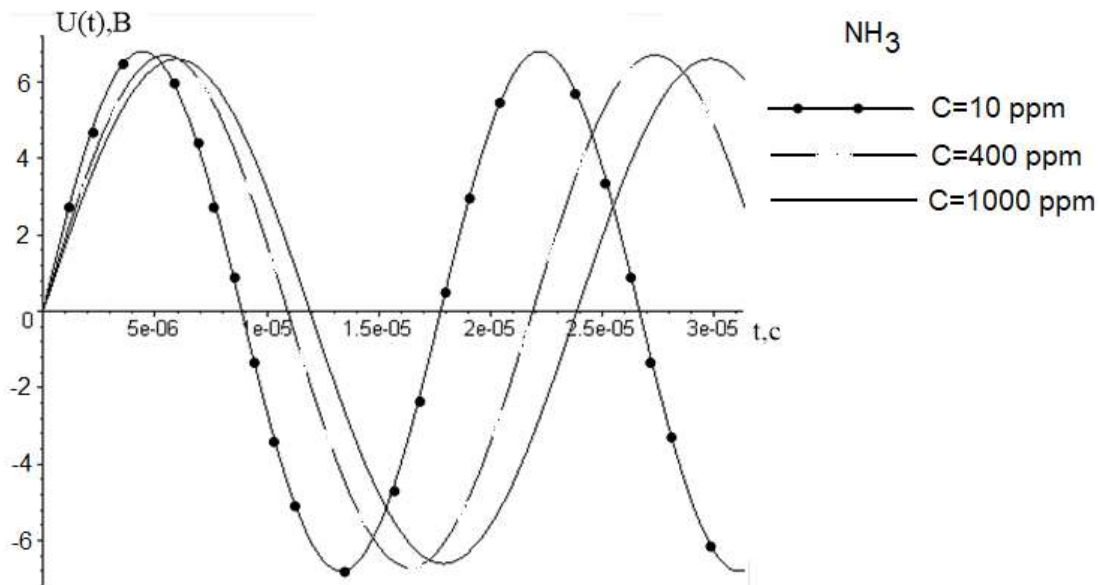


Figure 4. Change in the output signal of the frequency transducer from changes in the concentration of ammonia.

To conduct an experimental verification of the mathematical model (system of equations (3)), a hybrid integrated circuit was developed based on a two-gate MOS transistor BF998 and a bipolar transistor BC857.

In order to obtain the dependence of the output parameter of the frequency transducer of gas concentration on the value of the measured parameter, as well as for adequate calibration of the device, a conversion function is used. Based on the Lyapunov stability conditions [172], based on the resonance condition of the oscillatory circuit, the frequency of the output signal frequency transducer of gas concentration will be determined by the following expression:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B_1 + \sqrt{B_1^2 + 4L_1C_{GD}(C_{CE}R_1(C)R_4)^2}}{2L_1C_{GD}(R_1(C)R_4C_{CE})^2}}, \quad (4)$$

where  $B_1 = L_1C_{GD} - (C_{CE}R_1(C)R_4)^2 - C_{GD}C_{CE}R_1^2(C)R_4^2$ ,  $L$  – external inductance,  $C_{CE}$  – the throughput capacity of the collector-emitter of the bipolar transistor VT2,  $C_{GD}$  – the gate-drain capacitance of the field-effect transistor VT1.

Taking the derivative of the conversion function with respect to the gas concentration, we obtain a sensitivity equation for a given measuring transducer, which is analytically described by the following formula:

$$\begin{aligned} S^{F_0} = & 0.0562 \left( \frac{1}{B_2} \left( 2C_{ce}^2R_1(C)R_4^2 \left( \frac{\partial R_1(C)}{\partial C} \right) - 2C_{ce}^2R_1^2(C)R_4 - 2C_{gd}C_{ce}R_1(C)R_4^2 \left( \frac{\partial R_1(C)}{\partial C} \right) - 2C_{gd}C_{ce}R_1^2(C)R_4 + \right. \right. \\ & + \frac{1}{2} \left( -2C_{ce}^2R_1(C)R_4^2 \left( \frac{\partial R_1(C)}{\partial C} \right) - 2C_{ce}^2R_1^2(C)R_4 - 2C_{gd}C_{ce}R_1(C)R_4^2 \left( \frac{\partial R_1(C)}{\partial C} \right) - 2C_{gd}C_{ce}R_1^2(C)R_4 + \right. \\ & + 8L_1C_{gd}C_{ce}^2R_1(C)R_4^2 \times \left. \left. \left( \frac{\partial R_1(C)}{\partial C} \right) + 8L_1C_{gd}C_{ce}^2R_1^2(C)R_4 \right) / B_3 - \frac{1}{B_2} \left( 2(L_1C_{gd} - C_{ce}^2R_1^2(C)R_4^2 - \right. \right. \\ & \left. \left. - C_{gd}C_{ce}R_1^2(C)R_4^2 + B_3 \left( \frac{\partial R_1(C)}{\partial C} \right) \right) - \frac{1}{B_2} \left( 2(L_1C_{gd} - C_{ce}^2R_1^2(C)R_4^2 - C_{gd}C_{ce}R_1^2(C)R_4^2 + B_3 - \right) \right) \Bigg) / \\ & \left. \left( \frac{1}{B_2} (L_1C_{gd} - C_{ce}^2R_1^2(C)R_4^2 - C_{gd}C_{ce}R_1^2(C)R_4^2 + B_3) \right)^{1/2} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

where  $B_2 = 2L_1C_{GD}(R_1(C)R_4C_{CE})^2$ ,  $B_3 = \sqrt{B_1 + 4L_1C_{GD}(C_{CE}R_1(C)R_4)^2}$ .

Based on expression (4), graphs of the dependence of the generation frequency of the autogenerating transducer depending on the value of the gas concentration were obtained (Fig. 5).

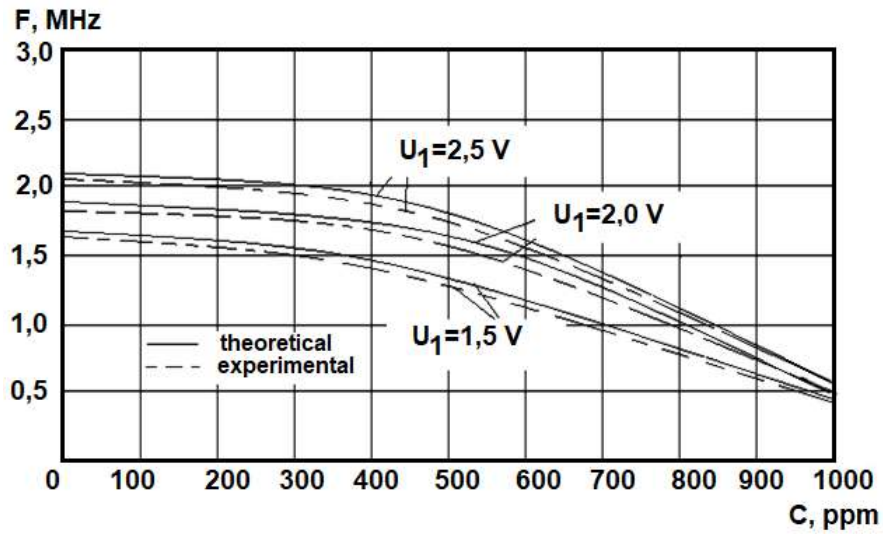


Figure 5. Dependence of the generation frequency on the change in  $\text{NH}_3$  concentration at different values of the control voltage.

Fig. 5 it can be seen that with an increase in the control voltage, the frequency of generation of the frequency transducer of gas concentration increases in all ranges of measurement of the concentration of ammonia. On the basis of the obtained analytical expression (5), the dependence of the sensitivity of the gas concentration transducer was calculated over the entire range of the measured parameter (Fig. 6).

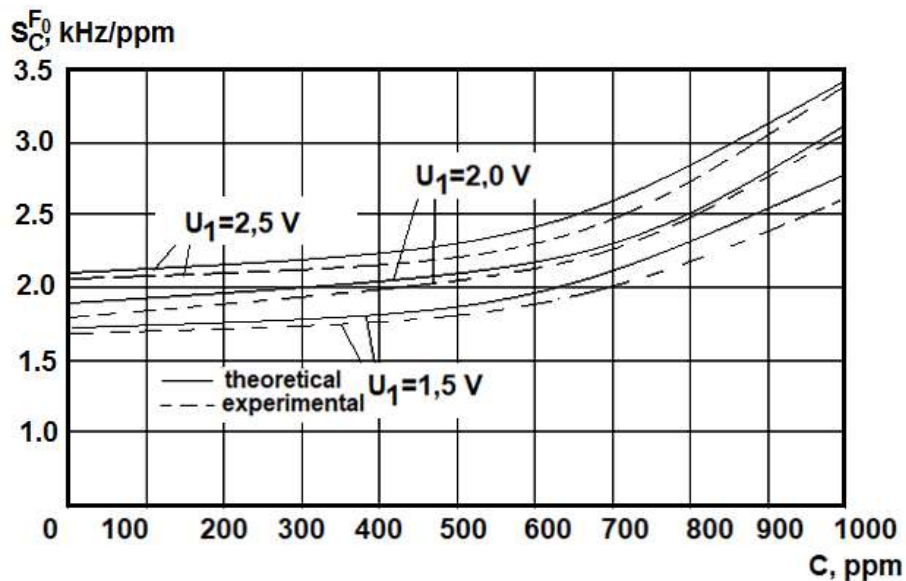


Figure 6. Dependence of the frequency transducer sensitivity at different values of the control voltage.

Fig. 5 that the frequency decreases proportionally with an increase in the ammonia concentration, so the frequency takes values from 2.12 MHz to 0.53 MHz when the  $\text{HN}_3$  concentration changes from 0 to 1000 ppm. The sensitivity of the developed frequency transducer for gas concentration ranges from 2.1 kHz/ppm to 3.4 kHz/ppm. The adequacy of the developed model in comparison with the experiment is determined in the form of a relative error and does not exceed  $\pm 2.5\%$ .

To create a gas concentration transducer, a circuit solution using an active inductive element is proposed in a completely integrated form. The circuit of a microelectronic gas concentration transducer with a frequency output and active inductance is shown in Fig. 7 [173]. The proposed microelectronic gas concentration transducer circuit is built on a transistor structure of three bipolar transistors on one HFA3046 crystal. At the electrodes, the collector-emitter of the bipolar transistor VT3 and the base-emitter of the bipolar transistor VT2, the current-voltage characteristic has a falling section, which corresponds to the appearance of a negative differential resistance. The operating point of the DC generator is selected on the falling section of the current-voltage characteristic. Oscillatory system of the oscillator (Fig. 7) consists of a capacitance that exists on the collector-emitter electrodes of the bipolar transistor VT3, as well as an active inductance based on the bipolar transistor VT4 and phase-shifting circuit C1R4. Resistors R1-R3 provide the mode of operation of bipolar transistors VT1-VT4 for direct current.

Microelectronic gas concentration transducer works as follows. By choosing a constant voltage source U1, we achieve the generation of electrical oscillations of the auto-generator. At the next action of ammonia  $\text{NH}_3$  on the gas-sensitive resistive element R2 based on the MEMS sensor MiCS-6814, which changes its resistance, leads to a change in the equivalent capacitance of the oscillatory circuit of the oscillator, and this, in turn, changes the generation frequency.

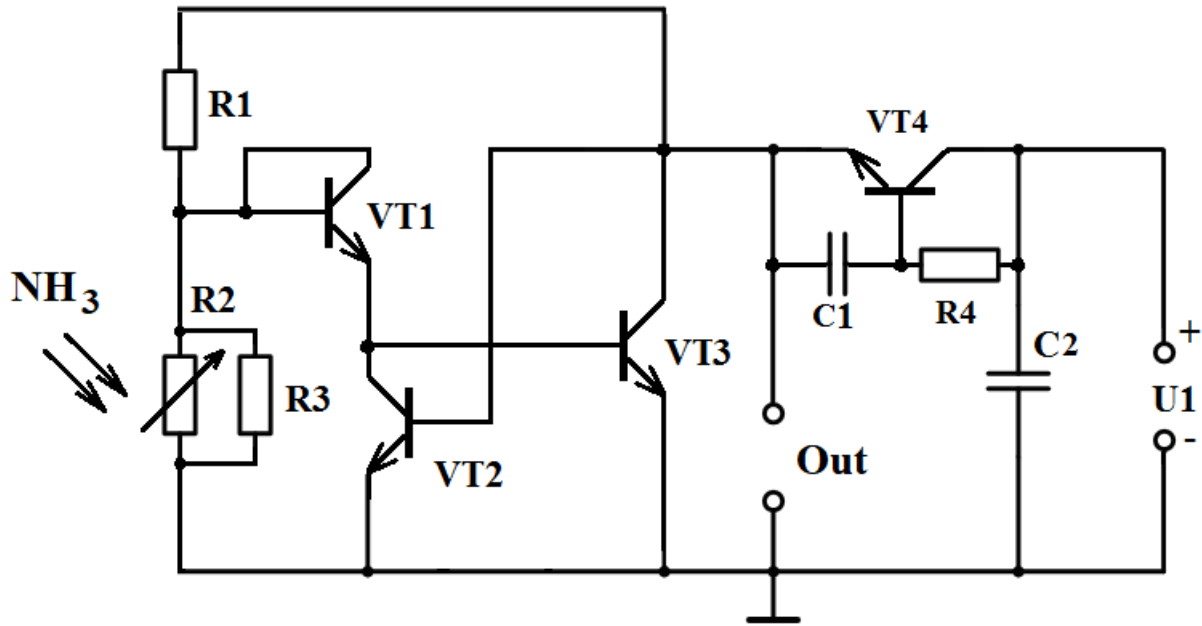


Figure 7. Electrical diagram of a gas transducer with a frequency output.

The conversion function and sensitivity of the frequency microelectronic gas concentration transducer are determined based on the equivalent circuit of the device. The resonant frequency, which is dependent on the change in gas concentration, is a conversion function of the sensor. It is determined on the basis of equality to zero of the reactive component of the total input impedance and has the form

$$F(C) = \frac{1}{2\pi R_g C(C)} \left[ \frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1 \right]^{1/2}. \quad (6)$$

The sensitivity of a frequency microelectronic gas concentration transducer is determined based on expression (6) and is described by the equation

$$S_C^{F_p} = -\frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1} \left( \frac{dC(C)}{dC} \right)}{\pi R_g^2 C(C)} + \frac{1}{2} \frac{\frac{dC(C)}{dC}}{\pi L \sqrt{\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1}}. \quad (7)$$

In fig. 8 shows the dependence of the conversion function, that is, the dependence of the resonant frequency on the gas concentration ( $\text{NH}_3$ ). As you can see from the graph, the conversion function is non-linear.

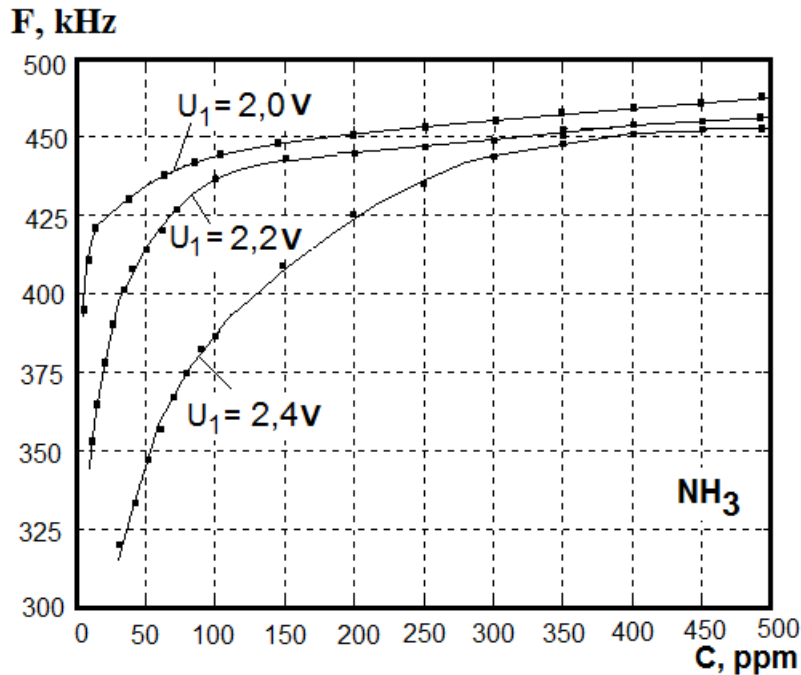


Figure 8. Dependence of vibration frequency on changes in ammonia concentration.

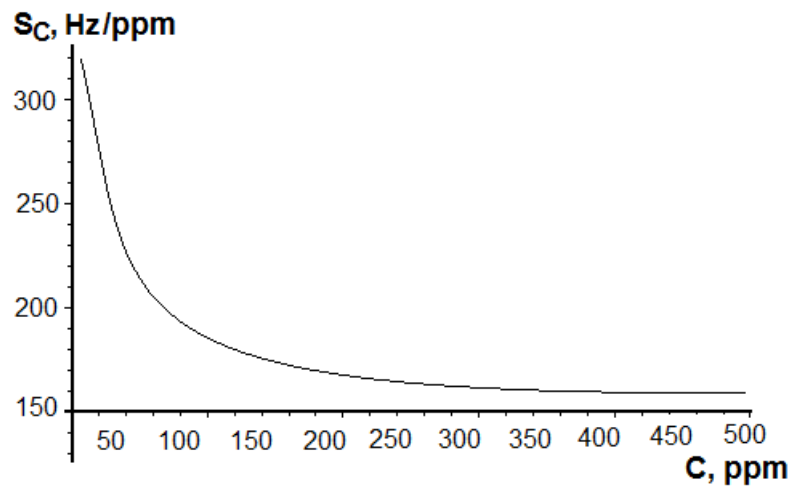


Figure 9. Dependence of sensitivity on changes in ammonia concentration.

In fig. 9 shows the dependence of the sensitivity of the frequency microelectronic transducer of gas concentration. Analysis of the graph shows that the highest sensitivity of the device lies in the range from 5 ppm to 75 ppm and ranges from 325 Hz/ppm to 225 Hz/ppm, and in the range from 150 ppm to 500 ppm it is 165 Hz/ppm, the lowest sensitivity value is 161 Hz/ppm from 300 ppm to 500 ppm.

Consider another schematic solution for creating a gas concentration transducer. In fig. 10 shows a diagram of an optical-frequency transducer of gas concentration with sensitive elements to optical radiation based on MOS field-effect transistors with an active inductive element [174].

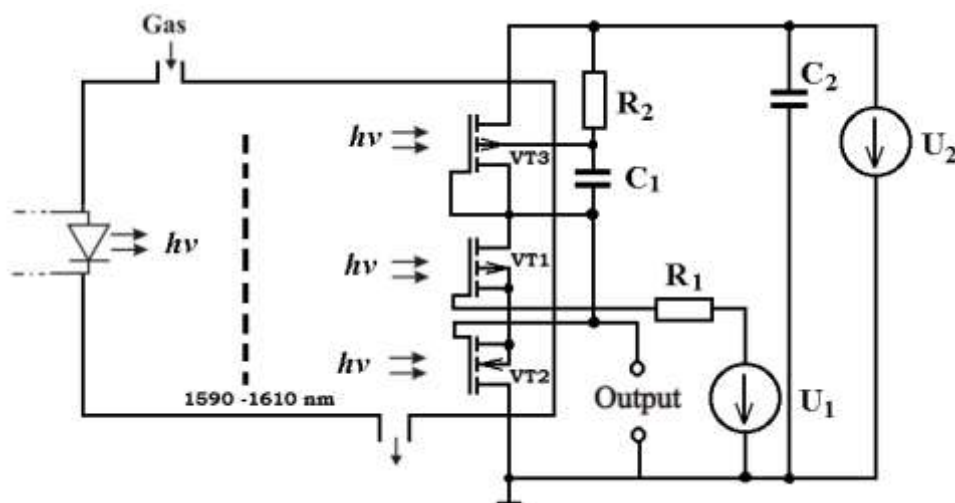


Figure 10. Diagram of an optical-frequency gas transducer.

Figure 10 shows a diagram of an optical-frequency transducer device, in which the capacitance of the oscillatory circuit of the oscillator is realized by the capacitive component of the impedance at the drain-drain electrodes of the field photosensitive transistors VT1 and VT2, and the inductance is realized by the inductive component of the impedance at the source-drain electrodes of the photosensitive transistor VT3. The absorption spectrum of  $\text{NH}_3$  is in the infrared range of 1590 - 1610 nm [175].

Field-effect phototransistors with a metal-oxide-semiconductor (MOS) structure have found wide application in systems for receiving and processing optical information [176]. At present, a theory of the photoreactive effect in MOS transistors has been developed, which quite accurately describes the static characteristics of such devices [177]. However, in the dynamic mode, when a small alternating signal and optical radiation act on the channel, the theoretical issues of changing the parameters of the transistor have not been fully studied. On the other hand, the dependence of the parameters of field-effect phototransistors on optical radiation in a dynamic mode makes it possible to create optical-frequency transducers with optical frequency tuning, which in their characteristics are much better than analog devices [169]. The use of field-effect transistor structures with negative resistance makes it possible to realize a





$$\left\{ \begin{aligned}
 U_2 &= (Z_{R2} + Z_{C1} + Z_{12} + Z_{11} + Z_{16})i_1 + Z_{R2}i_6 + Z_{C1}i_5 - Z_{12}i_3 + Z_{11}i_{11} + Z_1(I_{DS2} + I_{F4}) + Z_{16}i_2, \\
 U_1 &= (Z_{R1} + Z_1 + Z_2 + Z_8 + Z_9 + Z_{14} + Z_{15} + Z_{16})i_2 + Z_2(i_{10} + I_{DS1} + I_{F1}) + Z_8i_3 + Z_9i_3 + Z_{14}i_{12} + Z_{14}(I_{bs2} + I_{F5} + I_{DS2} + I_{F4}) - \\
 &\quad - Z_{14}(I_{bg2} + I_{F6}) + Z_{15}(i_{12} + I_{bs2} + I_{F5} - I_{bg2} - I_{F6} + I_{DS2} + I_{F4}) + Z_{16}i_1, \\
 0 &= (Z_7 + Z_5 + Z_6 + Z_8 + Z_9 + Z_{10} + Z_{12})i_5 + Z_5i_9 - Z_5(I_{bg1} + I_{F2}) + Z_5(I_{bs1} + I_{F3} + I_{DS1} + I_{F1}) + Z_6(I_{bs1} + I_{F3} - I_{bg1} - \\
 &\quad - I_{F2} + I_{DS1} + I_{F1}) + Z_8i_2 + Z_9i_2 + Z_{10}(i_{11} + I_{DS2} + I_{F4} + I_{bs2} + I_{F5} - I_{bg2} - I_{F6}) - Z_{12}i_1, \\
 0 &= (Z_{17} + Z_{18} + Z_{25})i_4 + Z_{18}i_7 + Z_{18}(I_{DS3} + I_{F7}) + Z_{18}(I_{bs3} + I_{F9}) - Z_{18}(I_{bg3} + I_{F8}) - Z_{25}i_5, \\
 0 &= (Z_{24} + Z_{C1} + Z_{25} + Z_{23})i_5 - Z_{24}i_6 + Z_{C1}i_1 - Z_{25}i_4 + Z_{23}(-I_{DS3} - I_{F7} - I_{bs3} - I_{F9} + I_{bg3} + I_{F8} - i_8), \\
 0 &= (Z_{22} + Z_{R2} + Z_{24} + Z_{21})i_6 + Z_{R2}i_1 - Z_{24}i_5 - Z_{21}i_8 + Z_{21}(I_{bg3} + I_{F8} - I_{bs3} - I_{F9} - I_{DS3} - I_{F7}), \\
 0 &= (Z_{18} + Z_{20} + Z_{19})i_7 + Z_{18}i_4 + Z_{18}(I_{DS3} + I_{F7} - I_{bg3} - I_{F8} + I_{bs3} + I_{F9}) + Z_{20}i_8 - Z_{20}(I_{DS3} + I_{F7}) + Z_{20}(I_{bg3} + I_{F7}) - \\
 &\quad - Z_{20}(I_{bs3} + I_{F9}) + Z_{19}(I_{DS3} + I_{F7}) - Z_{19}(I_{bg3} + I_{F8}) + Z_{19}(I_{bs3} + I_{F9}), \\
 0 &= (Z_{21} + Z_{23} + Z_{20})i_8 - Z_{21}i_6 - Z_{21}(I_{bg3} + I_{F8}) + Z_{21}(I_{bs3} + I_{F9}) + Z_{21}(I_{DS3} + I_{F7}) - Z_{23}i_5 + Z_{23}(I_{bs3} + I_{F9}) - Z_{23}(I_{bg3} + \\
 &\quad + I_{F8}) + Z_{23}(I_{DS3} + I_{F7}) + Z_{20}i_7 - Z_{20}(I_{DS3} + I_{F7}) - Z_{20}(I_{bs3} + I_{F9}) + Z_{20}(I_{bg3} + I_{F8}), \\
 0 &= (Z_4 + Z_5 + Z_6)i_9 - Z_4(I_{DS1} + I_{F1}) - Z_4(I_{bs1} + I_{F3}) + Z_4(I_{bg1} + I_{F1}) + Z_4i_{10} + Z_5i_3 - Z_5(I_{bg1} + I_{F2}) + \\
 &\quad + Z_5(I_{bs1} + I_{F3}) + Z_5(I_{DS1} + I_{F1}) + Z_6i_3 + Z_6(I_{DS1} + I_{F1}) + Z_6(I_{bs1} + I_{F3}) - Z_6(I_{bg1} - I_{F2}), \\
 0 &= (Z_2 + Z_4 + Z_3)i_{10} + Z_2i_2 + Z_2(I_{bs1} + I_{F3}) - Z_2(I_{bg1} + I_{F2}) + Z_2(I_{DS1} + I_{F1}) + Z_4i_9 - Z_4(I_{DS1} + I_{F1}) - \\
 &\quad - Z_4(I_{bs1} + I_{F3}) + Z_4(I_{bg1} + I_{F2}) + Z_3(I_{DS1} + I_{F1}) + Z_3(I_{bs1} + I_{F3}) - Z_3(I_{bg1} + I_{F2}), \\
 0 &= (Z_{10} + Z_{11} + Z_{13})i_{11} + Z_{10}(i_3 + I_{DS2} + I_{F4} + I_{bs2} + I_{F5} - I_{bg2} - I_{F6}) + Z_{11}i_1 + Z_{13}i_{12} + Z_{11}(I_{DS2} + I_{F4} + I_{bs2} + I_{F5} - \\
 &\quad - I_{bg2} - I_{F6}) + Z_{13}(-I_{bs2} - I_{F5} + I_{bg2} + I_{F6} - I_{DS2} - I_{F4}), \\
 0 &= (Z_{13} + Z_{14} + Z_{15})i_{12} + Z_{13}(i_{11} - I_{DS2} - I_{F4} - I_{bs2} - I_{F5} + I_{bg2} + I_{F6}) + Z_{14}(i_2 + I_{bs2} + I_{F5} - I_{bg2} - I_{F6} + I_{DS2} + I_{F4}) + \\
 &\quad + Z_{15}(i_2 + I_{bs2} + I_{F5} - I_{bg2} - I_{F6} + I_{DS2} + I_{F4}).
 \end{aligned} \right. \quad (8)$$

where  $Z_{R1} = R1$ ,  $Z_1 = R_{G1}$ ,  $Z_3 = -j/(\omega C_{GD1})$ ,  $Z_4 = Z_K$ ,  $Z_5 = -j/(\omega C_{BD1})$ ,  $Z_7 = R_{D1}$ ,

$$Z_8 = R_{S1} + j\omega L_{S1}, \quad Z_2 = \frac{R_{GS1}}{1 + \omega^2 R_{GS1}^2 C_{GS1}^2} - j \frac{R_{GS1}^2 \omega C_{GS1}}{1 + \omega^2 R_{GS1}^2 C_{GS1}^2}, \quad Z_6 = \frac{R_{B1}}{1 + \omega^2 R_{B1}^2 C_{BS1}^2} - j \frac{R_{B1}^2 \omega C_{BS1}}{1 + \omega^2 R_{B1}^2 C_{BS1}^2},$$

$$Z_{12} = R_{G2}, \quad Z_{11} = -j/(\omega C_{GD2}), \quad Z_{13} = Z_K, \quad Z_{15} = -j/(\omega C_{BD2}), \quad Z_{16} = R_{D2}, \quad Z_9 = R_{S2} + j\omega L_{S2},$$

$$Z_{10} = \frac{R_{GS2}}{1 + \omega^2 R_{GS2}^2 C_{GS2}^2} - j \frac{R_{GS2}^2 \omega C_{GS2}}{1 + \omega^2 R_{GS2}^2 C_{GS2}^2}, \quad Z_{R2} = R2, \quad Z_{14} = \frac{R_{B2}}{1 + \omega^2 R_{B2}^2 C_{BS2}^2} - j \frac{R_{B2}^2 \omega C_{BS2}}{1 + \omega^2 R_{B2}^2 C_{BS2}^2},$$

$$Z_{17} = R_{G3}, \quad Z_{19} = -j/(\omega C_{GD3}), \quad Z_{20} = Z_K, \quad Z_{21} = -j/(\omega C_{BD3}), \quad Z_{22} = R_{D3}, \quad Z_{25} = R_{S3} + j\omega L_{S3},$$

$$Z_{18} = \frac{R_{GS3}}{1 + \omega^2 R_{GS3}^2 C_{GS3}^2} - j \frac{R_{GS3}^2 \omega C_{GS3}}{1 + \omega^2 R_{GS3}^2 C_{GS3}^2}, \quad Z_{23} = \frac{R_{B3}}{1 + \omega^2 R_{B3}^2 C_{BS3}^2} - j \frac{R_{B3}^2 \omega C_{BS3}}{1 + \omega^2 R_{B3}^2 C_{BS3}^2}, \quad Z_{C1} = -j/(\omega C_{C1}).$$

The solution of the system of equations (8) was obtained by a numerical method on a personal computer in the "Matlab 9.3" computing environment. In general, the transformation function is described by the equation

$$\omega_0 = [L_{eq}(P)C_{eq}(P)]^{1/2}, \quad (9)$$

where  $\omega_0$  – circular frequency of generation,  $L_{eq}(P)$  – the equivalent inductance of the oscillating circuit of the oscillator,  $C_{eq}(P)$  – the equivalent capacity of the oscillating circuit of the oscillator, which is determined based on the solution of the system of equations (8). The sensitivity of the optical-frequency gas transducer is determined based on the equation (9)

$$\frac{d\omega_0}{dP} = -\frac{1}{2} [L_{eq}(P)C_{eq}(P)]^{-3/2} \left[ C_{eq}(P) \frac{dL_{eq}(P)}{dP} + L_{eq}(P) \frac{dC_{eq}(P)}{dP} \right]. \quad (10)$$

To check theoretical calculations of the total resistance of MOS - transistors from the power of optical radiation, they were compared with experimental data. Experimental studies were carried out in the range of 1...1250 MHz using a complex transmission coefficient meter P4-37. The source of optical radiation was a light-emitting diode based on InGaAsP XL3528IRC/1500 s the maximum of the spectral distribution at the wavelength  $\lambda = 1550$  nm. The radiation power was controlled using an OM3-65 device.

In fig. 12 shows the theoretical and experimental dependences of the generation frequency on the power of optical radiation. The frequency was measured using an AT-F2700 frequency meter. A decrease in the generation frequency is associated with an increase in the equivalent capacitance of the oscillatory circuit of the oscillator, which is caused by the photogeneration of nonequilibrium charge carriers in the channel regions, the source and drain p-n junctions of MOS transistors.

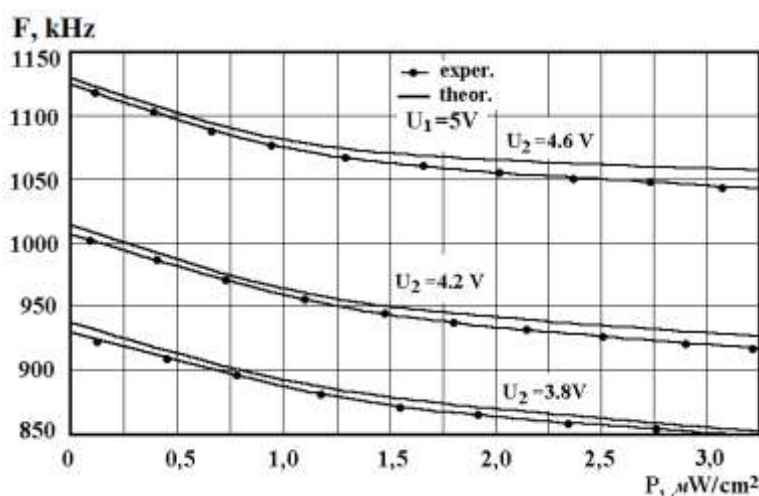


Figure 12. Theoretical and experimental dependences of the generation frequency on the power of optical radiation.

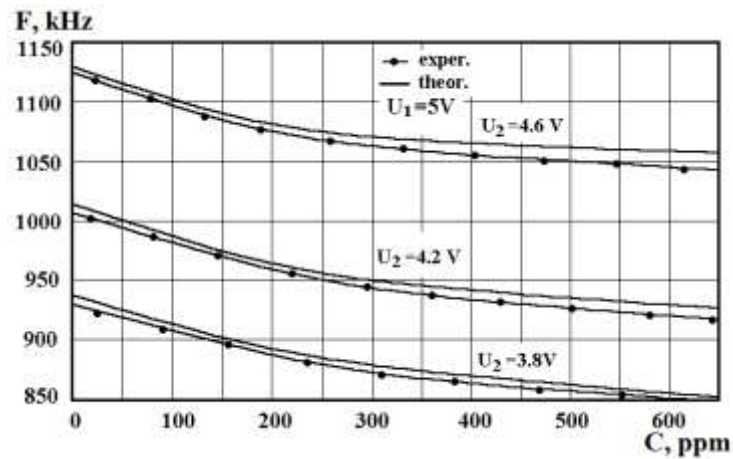


Figure 13. Theoretical and experimental dependences of the generation frequency on the  $\text{NH}_3$  concentration.

The above considered mathematical model of an optical-frequency transducer of gas concentration for diagnosing strains of the bacterium *Helicobacter pylori* takes into account the effect of optical radiation on the channel, source and drain p-n junctions of MOS transistors. Photosensitive field-effect transistors implement the capacitance and inductance of the oscillatory circuit of an optical-frequency gas transducer, which change under the action of optical radiation, and, accordingly, the gas concentration, which made it possible to increase the sensitivity of the gas concentration transducer.

**SECTION 5. ENGINEERING GRAPHICS****5.1 Поділ відрізка на три рівні частини у задачах на побудову з інженерної та комп'ютерної графіки**

Інженерна та комп'ютерна графіка розвиває у курсантів та студентів просторове уявлення, конструктивно-геометричне мислення і здібності до аналізу просторових форм на основі їх креслень, а також надання знань, умінь і навичок висловлювати свої технічні думки і розуміти думки інших за допомогою креслень, в тому числі, побудованих за допомогою комп'ютерної техніки.

Поняття простору є фундаментальним поняттям науки і мистецтва, яке в усі часи історії відіграло надзвичайно важливу роль у людському мисленні. Періоди Давнього Єгипту та Давньої Греції особливим чином виділяються в історії розвитку математики, геометрії. Практична геометрія розвивалася значною мірою завдяки "обслуговуванню" будівництва та мистецтва [178].

Для поділу відрізка прямої АВ на три рівні частини за допомогою хорд окружності, використовуючи циркуль та лінійку [179], спершу визначаємо його середину. Для цього застосовуємо поширений метод поділу відрізка на 2 рівні частини, а саме, з граничних меж відрізка А і В, циркулем дуги окружності радіуса R більшого за половину відрізка, з протилежних сторін відрізка – зверху і знизу, робимо перетин дуг. Точки перетину цих дуг – позначаємо 1 та 2. За допомогою лінійки співставляємо точку 1 і 2. Потім з точки 1, що розташована уверх від відрізка, поводимо пряму до перетину з ним прямої, яка ділить його на 2 рівні частини і є середнім перпендикуляром – рисунок 1а . Потім будуємо окружність. Точку перетину прямої з серединою відрізка позначаємо буквою О, ніжку циркуля з голкою ставимо на середину відрізка, у точку О, іншу ніжку, з предметом що пише, ставимо у точку А, або В відрізка АВ і з'єднуємо їх окружністю – рисунок 1в. Окружність перетне пряму, що з'єднує точку 1 і точку 2, точки перетину позначаємо буквами Е і F.

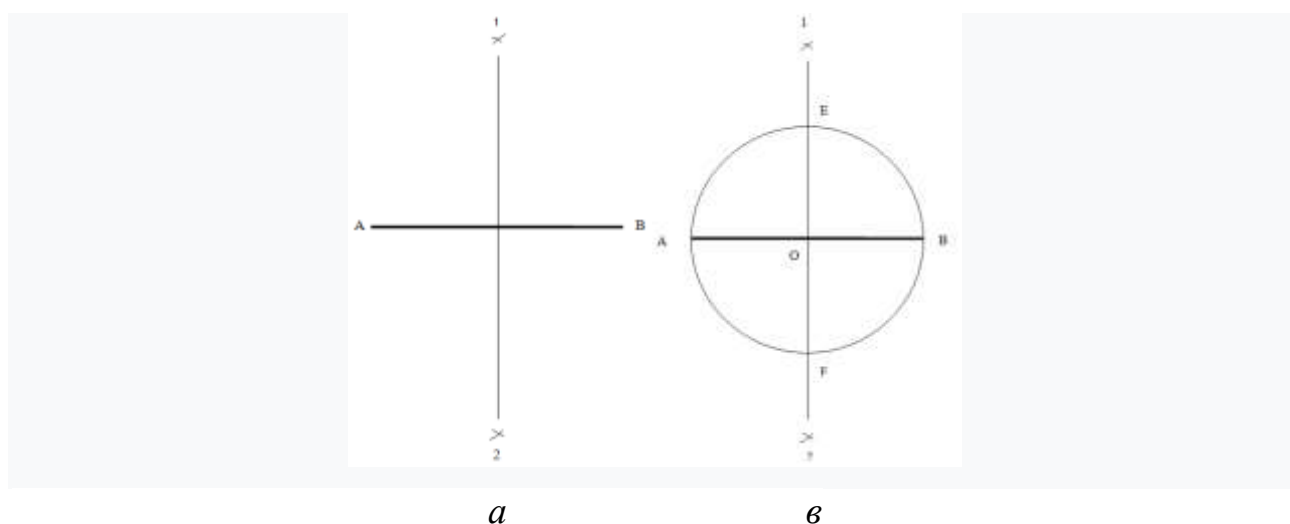


Рисунок 1. Поділ відрізка пополам та побудова окружності

Радіус  $OE$ , який є одночасно і середнім перпендикуляром, ділимо вищезгаданим методом на дві рівні частини. З отриманих точок 3 і 4 проводимо пряму на перетині з окружністю отримуємо хорду. Утворену хорду позначаємо буквами  $G$  і  $H$ . Точку перетину хорди  $GH$  з радіусом  $OE$  позначаємо буквою  $K$  – рисунок 2а. Після цього відрізок  $KE$ , що є половиною радіуса  $OE$ , ділимо на дві рівні частини. За допомогою точок 5 і 6 на перетині з окружністю отримуємо хорду. Новоутворена хорда, віддалена на  $3/4$  відстані від центру  $O$ , окружності радіусу  $OE$ . Отриману хорду позначаємо буквами  $ST$ . Перетин хорди  $ST$  з радіусом  $OE$  позначаємо буквою  $P$  – рисунок 2в.

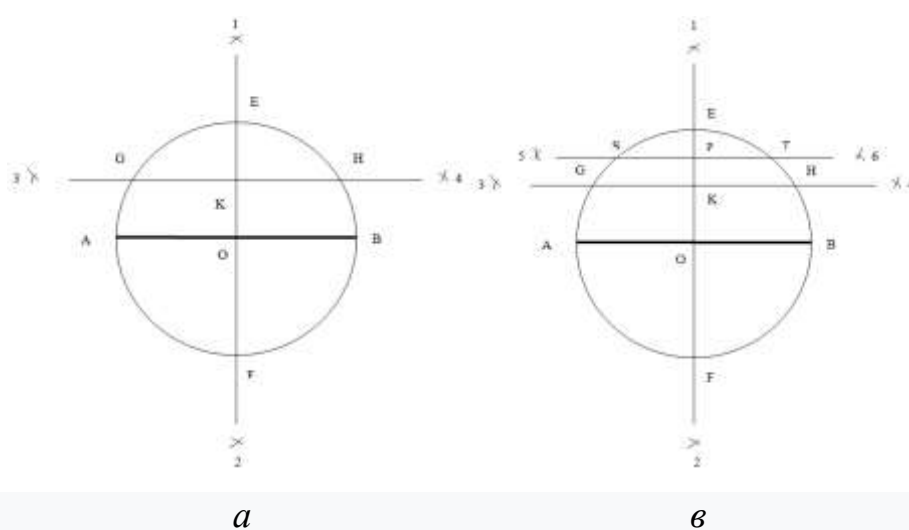


Рис. 2. Побудова хорд віддалених на  $1/2$  і  $3/4$  радіуса від центра окружності

Після побудови хорд, знаходимо можливі варіанти поділу відрізка прямої АВ на три рівні частини.

Перший варіант. З'єднавши точки В і Т отримуємо хорду ВТ. З точки Р, перетин хорди ST с радіусом ОЕ, проводимо відрізок паралельний хорді ВТ до дотику з заданим відрізком АВ і позначаємо точкою D і отримуємо перший відрізок DB. Для отримання другого відрізка з'єднуємо точки А і S і отримуємо хорду AS. З точки Р проводимо відрізок паралельний хорді AS до торкання з заданим відрізком АВ і позначаємо точкою С – рисунок 3а.

У даному варіанті відрізок АВ прямої буде поділений на 3 рівні частини – АС, CD, DB.

Другий варіант. З'єднуємо точки В і Т отримуємо хорду ВТ. З точки Р, перетин хорди ST с радіусом ОЕ, проводимо відрізок PD паралельний хорді ВТ до дотику з заданим відрізком АВ, позначаємо точкою D і отримуємо перший відрізок DB. Для отримання другого відрізка, з точки S проводимо відрізок паралельний відрізку PD, а отже і хорді ТВ до дотику з заданим відрізком АВ і позначаємо точкою С – рисунок 2в. У другому варіанті ми отримали відрізок АВ також поділений на три рівних частини АС, CD, DB.

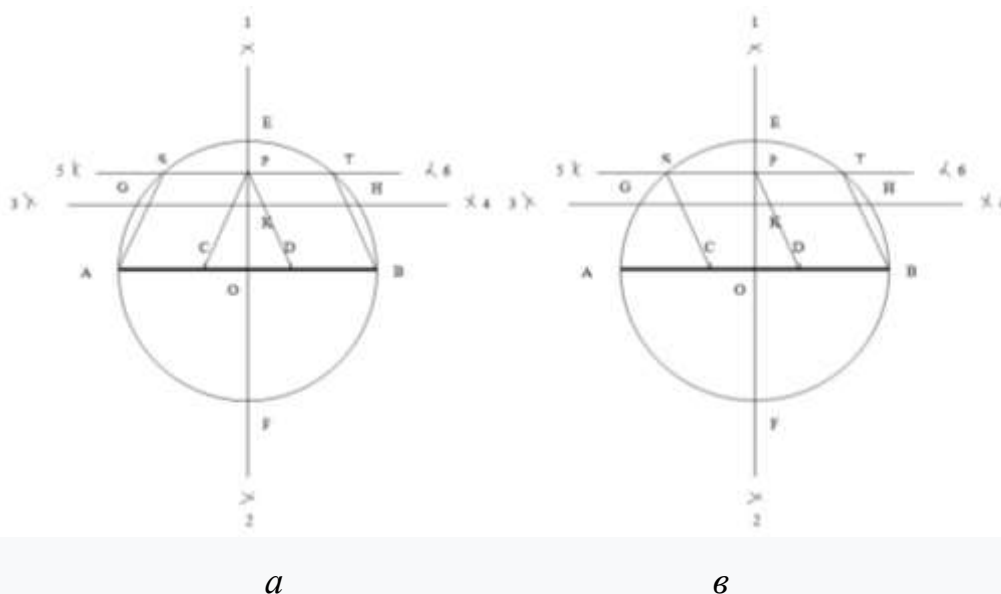


Рис. 3. Поділ відрізка на три рівні частини – перший варіант і другий варіант.

Третій варіант. Проводимо черговий етап поділу відрізка прямої на три рівні частини. Застосовуючи циркуль, заміряємо відстань між точкою SP або PT, що дорівнює половині утвореної хорди ST, і послідовно відкладаємо на відрізку AB – рис. 4а. У даному варіанті відрізок AB прямої також поділений на три рівні частини – AC, CD і DB.

Четвертий варіант. Кожну з половин, утвореної хорди ST – SP і PT ділимо, вище застосованим методом на дві рівні частини. Проводимо прямі, що з'єднують точки 7 і 9 і 8 і 10 і ділимо кожен з половин хорди на дві рівні частини, до перетину з діаметром окружності, який є заданим відрізком AB – рис. 4в. Четвертий варіант також дає можливість поділити відрізок AB на три рівні частини – AC, CD і DB.

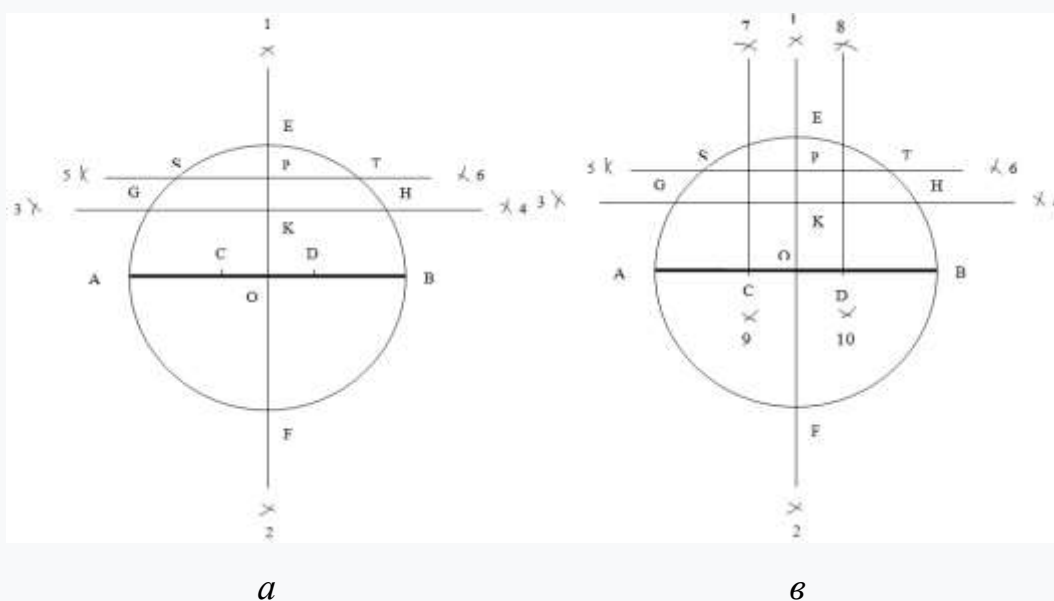


Рис. 4. Поділ відрізка на три рівні частини – третій варіант та четвертий варіант.

Довжина хорди, яка відступає на  $3/4$  від центру окружності, дорівнює  $2/3$  діаметра, а половина хорди, яка віддалена на  $3/4$  від центру окружності, дорівнює  $1/3$  діаметра цієї ж окружності. При обертанні утвореної фігури (рис. 3, 4) навколо осі – вертикальної прямої лінії позначеної точками 1 і 2, утворюється

геометричне тіло – сфера. Хордами і відповідними дугами окружності будуть утворені:

- кола різних діаметрів і різних площ;
- окружності різної довжини;
- відповідні геометричні тіла.

Всі вони будуть знаходитися між собою і відповідними хордами в певних співвідношеннях.

При застосуванні ділення відрізка по черзі на три рівні частини їх кількість буде кратна числу 3 і буде мати наступний вигляд  $n = 3^n$ . Почергове комбінування поділу відрізка прямої на три і на дві, а також на дві і на три рівні частини дає можливість ділити відрізок прямої на рівні частини на кількість кратну числу 3 і 2. Отримані дані можна застосовувати для пошуку нових геометрографічних методів розв'язання задач побудови і трансформації геометричних фігур і геометричних тіл в геометрії, нарисній геометрії, інженерній та комп'ютерній графіці, топології. Використовувати в архітектурно-будівельному проектуванні, при конструюванні техніки і створенні комп'ютерних програм. Співвідношення хорд кола, при розподілі відрізка прямої на три рівні частини, можна застосувати для встановлення співвідношення, при утворенні сфери, кіл та їх площ, окружностей і їх довжини і різних показників при утворенні, у даному випадку, геометричних тіл, а також для відповідних математичних обґрунтувань. Застосування циркуля та лінійки дає можливість будувати та розв'язувати інші операції з елементарної геометрії з різноманітними видами геометричних фігур.

Запропоновані варіанти розв'язання задачі поділу відрізка на три рівні частини за допомогою циркуля та лінійки, можуть бути відправною точкою для розв'язання і інших задач [179].



**SECTION 6. FOOD TECHNOLOGY****6.1 Improvement of fish snacks technologies with the application of biotechnological fat removal**

At present, the main tasks of processing enterprises are to improve the quality and increase output by maximizing the full utilization of raw materials.

Fish is one of the most important sources of animal protein for the human body. Fish proteins include all essential amino acids. Fish proteins are easily absorbed by the human body. Due to its special chemical composition and taste properties, fish is one of the first among the products of animal origin.

The modern buyer prefers products that are environmentally friendly, which are not subject to the processing of synthetic additives, such as dyes, preservatives (except natural), etc. Such products include salt-dried fish. Currently, world and Ukrainian producers produce salt-dried fish in the form of snacks - products intended for rapid consumption and long-term storage. Fish snacks are not only a traditional snack for beer, but also a product that perfectly quenches hunger, packaged in convenient consumer packaging.

The modern technologies make it possible to leave many unique and valuable substances in salt-dried fish products. The optimum amount of salt and the precise selection of residual moisture emphasizes the natural taste of dried fish. The snack industry in supermarket-oriented societies generates billions in revenue annually. The snack market is huge and large corporations are constantly competing to keep snacks moving. Therefore, the development of the snack industry in Ukraine is incredibly relevant.

Changes in the raw material base, species composition of raw materials, the development of freshwater fish farming make their adjustments to the technology of production of fish snacks. Their creation on the basis of the most widespread industrial fish species of Ukraine, including freshwater ones, becomes promising.

*Current status and outlook for the fish snack market.* The word snack (english snack) refers to fast-food starvation products, light snacks consumed on-the-go.

At the beginning of its development, food concentrates (snacks) developed very rapidly and grew in the Ukrainian market. Mostly potato chips and salted peanuts were presented.

Fish snacks are in high demand in cities with a population of more than 500 thousand people [180].

Snack products presented on the Ukrainian market today are united by the following product characteristics: long shelf life (about 10 months), mandatory packaging, light weight (less than 100 grams) and readiness for immediate use.

According to «Snack Export» LLC, Ukrainian snack market is estimated at \$ 400... 450 million, market growth is 15... 20% per year [181].

Competition in the Ukrainian snack market is high, so manufacturers are constantly looking for new ways to reach new customers: expand the range, use different types and tools of marketing communications, in advertising focus on cheaper snacks. For example, in addition to traditional potato chips, «Kraft Foods Ukraine» also produces corn, and «Technocom» produces rice chips, fruit chips - apple, pear, banana.

Also known technologies for the production of Jerusalem artichoke chips, persimmon, white root vegetables, quince [181].

Due to the lack of culture of consumption of salty snacks in Ukraine as a separate type of production, the domestic market for these snacks is dependent on the beer market. Unlike Ukrainian producers, international companies do not track the relationship between these two markets, abstracting from beer producers. Ukrainian companies are now also trying to get rid of "beer dependence" and increase the market by expanding the range and the production of salty snacks in large-sized packaging. However, since fish snacks are still considered an accompanying beer in Ukraine, the market for such products is directly dependent on the seasonality of the beer market, which falls between April and October [180].

Currently, the range of fish snacks is quite wide. Salt-dried products are made from these types of fish: anchovy, plaice, pollock, eel, hake, goby, tuna, horse mackerel, perch, cod, and others..

But in the conditions of fierce market competition the priority activities are the development of new raw materials, improving the taste characteristics of snacks and increasing the shelf life of finished products. Creating a novelty allows the manufacturer to capture a larger segment of the market and strengthen its position relative to competitors [182, 181].

The urgent issue is the possibility of producing snack products from the *Sprattus sprattus*, *Engraulis encrasicolus* and freshwater fish *Hypophthalmichthys nobilis*. These are the most widespread industrial fish species of Ukraine, which are caught in sufficient numbers and in close proximity to the production capacities of Ukrainian producers. In 2018, the total catch of aquatic bioresources in the Black Sea, compared to 2017, increased by 3.3 thousand tons and amounted to 8.6 thousand tons. The basis of fishing is: rapana - 5.5 thousand tons; sprat - 1.6 thousand tons, shrimp - 0.5 thousand tons and mussels - 0.3 thousand tons [183, 184]. The catch volume of aquatic bioresources in inland reservoirs has also been increasing in recent years. Thus, in 2018, compared to the previous year, it increased by 4.6 thousand tons and amounted to 46.8 thousand tons, which is 54% of the total catch volume [183-185].

The main problem that prevents the production of snack products is the high fat content of fish. Fat oxidation causes odor and taste, that is, spoilage of the product [186-187].

It's no secret that fish are over-dried to ensure a long shelf life (10 months), which makes the meat tough enough and fibrous, so its taste characteristics are somewhat reduced. In order to be able to produce products with a softer texture, a number of technological problems need to be addressed. One of the most important of these is the oxidation of the subcutaneous fat [188-190]. One of the possible ways to solve it is the cleavage of lipids by biologically active compounds – enzymes.

For economic feasibility, it was decided to use a complex of enzymes extracted from cheap raw materials of plant origin – wheat bran.

Attempts to solve these problems with the help of biotechnological processing method are outlined in this paper.

*Methods of obtaining lipases.* Enzymes are biological catalysts of a protein nature, capable of many times accelerating the chemical reactions occurring in a living organism, but they are not themselves part of the end products of the reactions [191].

The role of enzymes in food technology is extremely important. The production of any food product is based on either biochemical (enzymatic) or physico-chemical processes, or these processes are closely interrelated [192].

Unlike inorganic catalysts, enzymes have their own characteristics. Firstly, the rate of enzymatic catalysis is several orders of magnitude higher ( $10^3$  to  $10^9$ ) than non-biological catalysis. Secondly, the action of each enzyme is highly specific. Each enzyme acts only on its own substrate or group of related substrates. Thirdly, enzymes catalyze chemical reactions under mild conditions, ie at normal pressure, low temperature (20... 50 ° C) and at pH values, in most cases close to neutral [191-192].

Lipases (from the Greek. Lípos – fat), enzymes of the hydrolases class; catalyze the hydrolysis of ester bonds in triglycerides to form fatty acids and glycerol [191].

The methods of obtaining and removing lipases are given special attention by scientists of the world. Yes, Beryozov TT and Korovkin BF proposed a method of preparative production of wheat germ lipase. They proposed a method of purification and selected the optimal conditions for the release of lipase from wheat germ (*Triticum aestivum* L.) [193].

Authors such as G. Yu. Nekrashite, I. K. Straykuvne, and others have proposed a method of producing phospholipase D. The invention relates to the microbiological industry, namely the production of enzymes. The aim of the invention is to increase the enzymatic activity in the culture fluid of the target

product and reduce its cost. This goal is achieved by the fact that according to methods of producing phospholipase D, including the cultivation of a producing microorganism of the genus *Streptoverticillium* in a nutrient medium containing sources of carbon, nitrogen, mineral salts and water [194].

I. S. Zvyagintseva, V. T. Luka and others received a strain with high lipolytic activity and broad substrate specificity. The invention consists in the fact that by multistage selection the adaptive method was obtained by the yeast strain *Jarrowia lipolytica* VNIIA 304A – an active producer of lipase. High lipolytic activity of the strain and its ability to absorb different substrates is provided by the nutrient medium of a given composition [195].

I. G. Sultanova and K. D. Davranov was proposed the strain of the fungus *Rhizopus microsporus* – producer of lipase. The invention relates to biotechnology, in particular to obtain the enzyme lipase, hydrolyzing fats. The purpose of the invention is to obtain a strain of the fungus *Rhizopus microsporus*, which has a high ability to form lipase specific for hydrolysis of fish oil. The preparation of lipase obtained from the culture can be used for hydrolysis of fish oils upon receipt of fish products enriched with polyene acids [196].

A rich complex of hydrolytic enzymes can be obtained by *Bacillus subtilis* culture. These are aerobic, gram-positive sticks. The culture is cultured as a method of surface cultivation on bran and in liquid media of special composition by the method of deep cultivation. They can use proteins, carbohydrates, alcohols, organic acids as sources of nutrition.

For a long time in medicines used enzymes of animal origin. However, obtaining these enzymes involves a number of difficulties: the need to use directly the organs of animals, the number of which is limited, in addition, it is a rather time-consuming and expensive process. Plants are a large raw material base, more affordable and cheaper. Therefore, recently enzyme preparations derived from plants are quite widely used.

Plant lipase is found mainly in seeds, fruits, tubers, cereal rhizomes (corn, oats), cruciferous seeds (mustard seeds), especially in legumes (beans, peas), and sunflower seeds.

Wheat flour enzymatic activity (initial rate) is five times higher at 15.1% moisture than at 8.8%. The same behavior is found for lipases of rye, oats and poppy seeds. The temperature optimum of the reaction (for a 24-hour period) for rye was set at 75 ... 90 ° C at 6% moisture, 70 ° C at 15% moisture and 60 ° C at 20% moisture, which reflects the resistance of the enzyme to heating at different humidity levels.

It was found that the highest amount of lipase contains wheat germ. However, the amount of lipase in the wheat germ is less than 5% of the total grain activity.

Earlier works on the purification of wheat lipase indicated that this enzyme acts on ethers (and soluble) ethers and has a pH optimum of 7.4. Maximum enzyme activity was detected with triacetin. Monobutyryn and ethyl acetate, as well as emulsified monoolein, were easily hydrolyzed by the enzyme [191,193].

*Object, subject matter and methods of research.* Main directions of research, sequence of their carrying out and interrelation of stages of the decision of problems, on development of the biotechnological way of removal of subcutaneous fat layer of small Azov-Black Sea fishes in technology of snack, reflected in the research program (Figure 1).

The first stage of the work was the conduct of analytical studies, which allowed us to choose a specific direction of the experiments, to determine the sequence of stages of solving the tasks. Subsequent experimental and theoretical studies conducted in the directions given in the research program have shown the feasibility of using a biotechnological method of removing subcutaneous fat from small fish in the Azov-Black Sea basin in snack technology. Therefore, in the second stage, in order to develop a biotechnological method of removing the subcutaneous fat layer, we studied the influence of various factors on the process of fat removal.

**1. Theoretical accreditation:**

- Analytical review of literature and patent dzherel, internet-look
- Current status and outlook for the fish snack market
- Methods of obtaining lipases

**2. Form of conception:**

- Development of biotechnological method of fat removal in small fish of the Azov-Black Sea basin in fish snack technology.

**3. Experimental substantiation of technology:**

- Objects and methods of research;
- Carrying out applied research works
- Removal of subcutaneous fat of *Sprattus sprattus* with the help of wheat bran enzyme complex:
  - Determination of the optimum temperature of action of a complex of lipolytic enzymes of wheat bran;
  - Determination of optimal pH value for enzymatic degreasing;
  - Vacuum fermentation
- Investigation of the effect of fish pre-treatment on the drying process

**4. Improvement of fish snack technology:**

- Development of snack production technology using biotechnological method of subcutaneous fat removal
- Development of freshwater fish chips formulations and technology, evaluation of their quality.

Figure 1. The research program.

The experimental studies were carried out in the laboratories of the Department of Canning Technology of the Odessa National Academy of Food Technologies (Odessa) and the Department of Meat, Fish and Seafood Technology of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv).

Determination of physicochemical indicators of raw materials, as well as at different stages of the technological process and the finished product was carried out experimentally using standard methods of research.

Determination of mass fraction of moisture by drying at 100...105 °C, mass fraction of fat by extraction method in the apparatus of Soxhlet, mass fraction of sodium chloride by the argentometric method according to GOST 7636-85 [197].

The latest product specifications (snacks) are specified in GOST 34191-2017 and GOST 33803-2016

[198- 199]. Organoleptic assessment was carried out on the basis of the ball scale [200].

*Removal of subcutaneous fat of Sprattus sprattus with the help of wheat bran enzyme complex.* Pre-dried at 35 ° C to constant weight, wheat bran was ground in a mortar to a powdered state. Next, the bran was poured with water (GM 1: 4) at 35 ° C and kept for 30 minutes, stirring. Then it was filtered through filter paper. The obtained extract was poured on the bed without head and spinal bone fish and kept for 30...45 minutes.

Determined the change in mass fraction of fat. The results obtained were compared with the control sample – the mass fraction of fish fat, untreated with the enzyme preparation previously defined.

A graphical representation of the results of the experiment is presented in Figure 2.

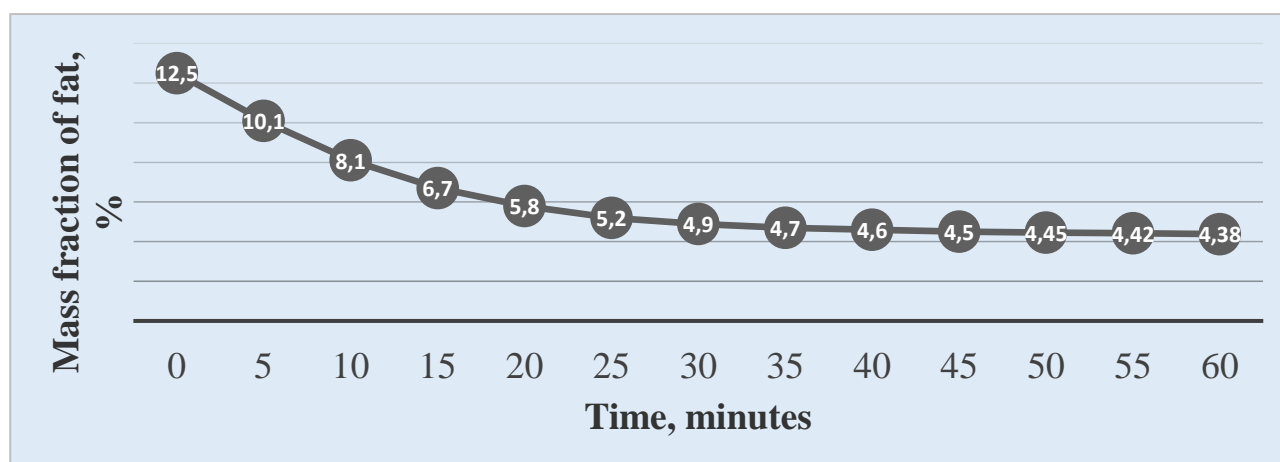


Figure 2. The dependence of the effect of fermentation on the change in mass fraction of fat of sprat of the Black Sea on time.



The results of studies have shown that the mass fraction of fat of the control sample under the action of a complex of wheat bran enzymes decreases from 12 to 4.5%, ie almost three times. Thus, biotechnological methods based on the use of a complex of enzymes of vegetable raw materials can be used to remove 7... 8% of fat.

Determination of optimal temperature of action of a complex of lipolytic enzymes of wheat bran. The rate of enzymatic catalysis depends on the temperature of the medium. To determine the optimum temperature of the action of a complex of lipolytic enzymes of wheat bran, the fermentation of fish was carried out at different temperatures for a time equal to 30 ... 45 minutes. A graphical representation of the results of the experiment is presented in Figure 3.

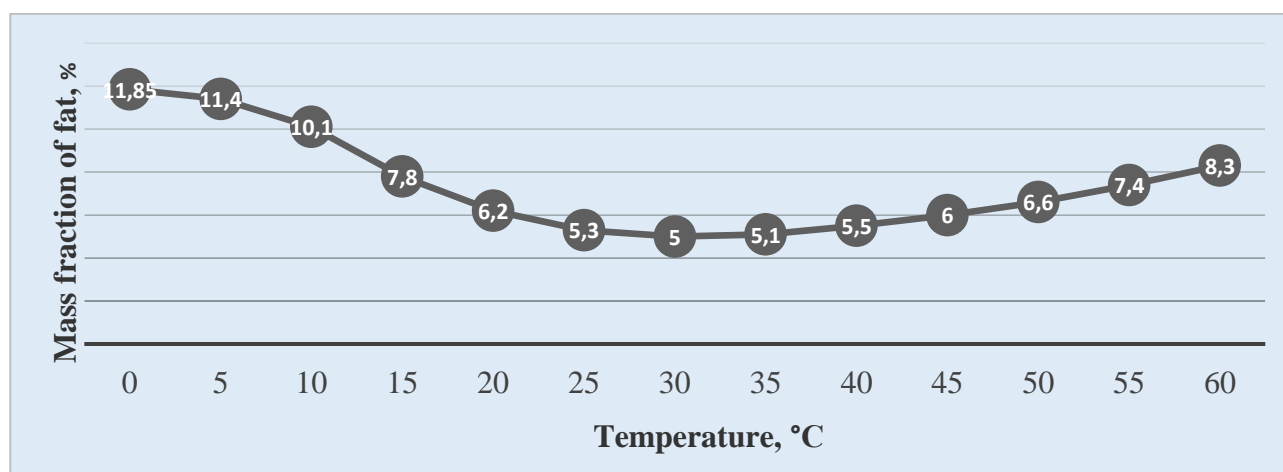


Figure 3. The influence of ambient temperature on the change in the mass fraction of fish fat.

The results of studies have shown that the lipase of wheat bran operates in a sufficiently wide temperature range – from 20 to 45 ° C. In the temperature range from 0 to 5 ° C for a specified period of time, the hydrolysis of fat almost did not occur. In the range of 5 to 20 ° C, the rate of hydrolysis increases in 30 minutes 1...6 % of fat is removed, but the highest activity is observed at 25...35 ° C and 30 minutes 7... 8 % of fat is removed. In the temperature range from 45 to 60 ° C, the rate of hydrolysis decreases in 30 minutes 4...6 % of fat is removed.

Determination of the optimal pH value for enzymatic degreasing. To determine the optimal pH for the complex of lipolytic enzymes of

wheat bran, the fermentation of fish was carried out at different pH values for the same time for all samples 30...45 minutes. A graphical representation of the results of the experiment is presented in Figure 4.

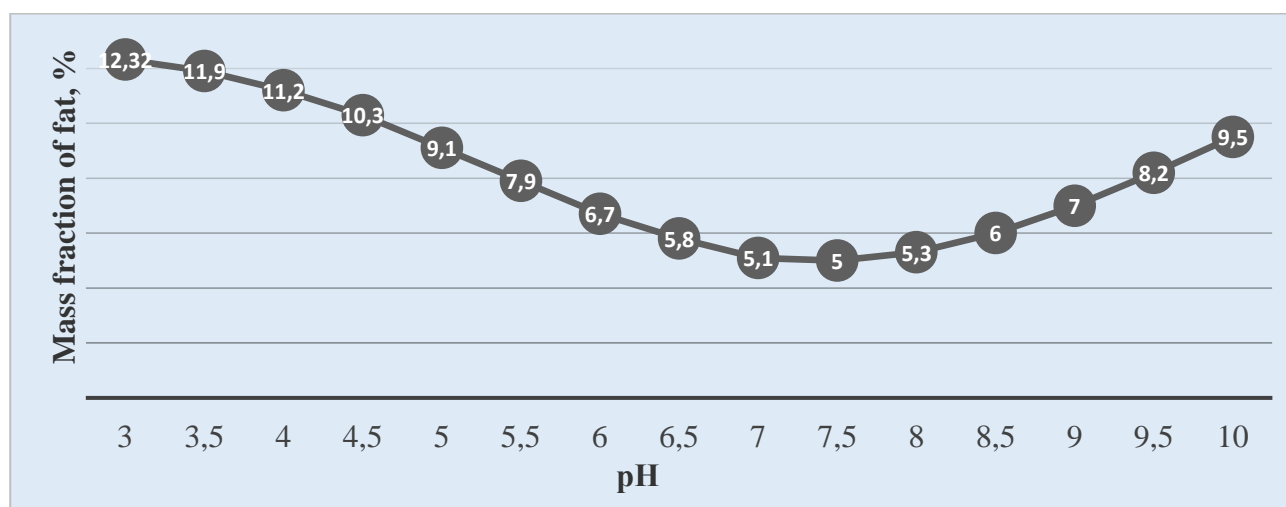


Figure 4. Influence of pH on the change in mass fraction of lipids.

According to the obtained data, we conclude that in the pH range from 3 to 4 mass fraction of fat is almost unchanged. In the range from 5 to 6, the rate of lipid hydrolysis increases and is 3...5% of fat in 30 minutes, but the fastest cleavage of fat occurs at pH values from 7 to 8 and is 7...8% of fat in 30 minutes. In the range from 9 to 10 the rate of hydrolysis begins to decrease and is 3...5% of fat in 30 minutes.

**Vacuum fermentation.** The method consists in the fact that when the atmosphere is diluted, the air dissolved in the intercellular tissue space of the fish will begin to be released and the enzyme solution will be absorbed into its place.

Used enzymes extracted from wheat bran. The fish disassembled into the headless and spinal bone layer, filled with a solution of the enzyme preparation, were placed in a desiccator connected to a vacuum pump. Dilution of 0.8 kgf / cm<sup>2</sup> at 25 °C was created. A graphical representation of the results of the experiment is presented in Figure 5.

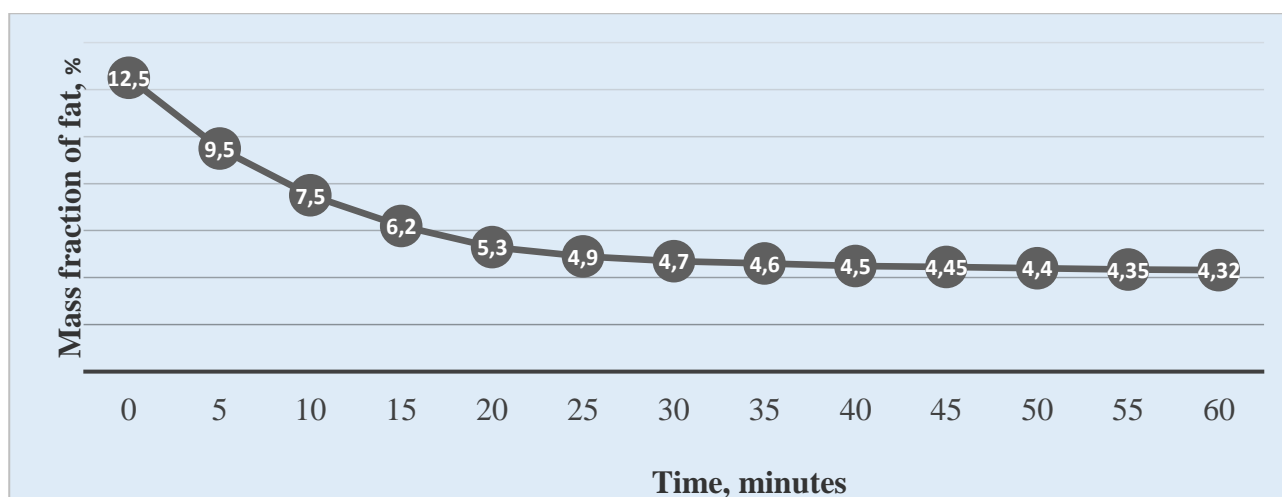


Figure 5. Dependence of the influence of fermentation under vacuum on the change in mass fraction of fat on time.

The obtained data showed that the decrease in mass fraction of fat compared to the treatment at atmospheric pressure is negligible and remained at the level of 4.5...6 %. But at the same time the fermentation time decreased – these results were achieved in 20...30 minutes against 30...45 minutes at normal pressure.

*Investigation of the effect of fish pre-treatment on the drying process.* Disassembled into a layer without a head and spinal bone, treated with an enzyme preparation, the fish was dried with a stream of air at a rate of 0.6 m / s, at a temperature of 50 ° C. During the drying process, the fish was weighed and the moisture content was determined.

Drying was stopped after reaching a mass fraction of moisture in fish 25 ... 35%. At the end of the drying did a comparative organoleptic evaluation of fish with pre-enzymatic removal of subcutaneous fat and fish without pre-treatment. The parameters of the ambassador and the drying time are the same for all samples. The results of the studies are shown in Table 1.

Table 1.

Comparative organoleptic evaluation of dried fish with pre-enzymatic removal of subcutaneous fat and fish without pre-treatment with enzymes

Indicator	Fish without first enzymatic processing	Fish with pre-enzymatic fat removal
Surface color	Light gray	Light gray
Yellowing	Insignificant	None

Humidity	Dry	Dry
Scent	Slight odor of oxidized fat	Odorless oxidized fat
Taste	Peculiar	Peculiar
Hardness	Hard	Hard
Stratification	Fibrous	Fibrous
Oiliness	Significantly oily	Slightly buttery

According to the obtained data, it can be concluded that the fish treated with the enzyme preparation during drying had significantly less fat release to the surface than the fish without enzymatic treatment, which improves the appearance and guarantees a longer storage time.

*Development of technology for the production of snacks using biotechnological method of removing the subcutaneous fat.* On the basis of experimental studies, a technological scheme for the production of snacks was developed using a biotechnological method of removing the subcutaneous fat layer shown in Figure 6.

*Defrosting.* The frozen fish should be thawed in defrosting apparatus, baths in running or intermittent water, or in brine at a density of 1.02 g/cm<sup>3</sup> to 1.03 g/cm<sup>3</sup>, or in air. The temperature of the water, brine or room air must not be higher than 20 ° C. The ratio of the weight of fish and water or brine in the bath 1:2. Frozen fish washed with water in the air. Do not wash fish thawed in water or brine.

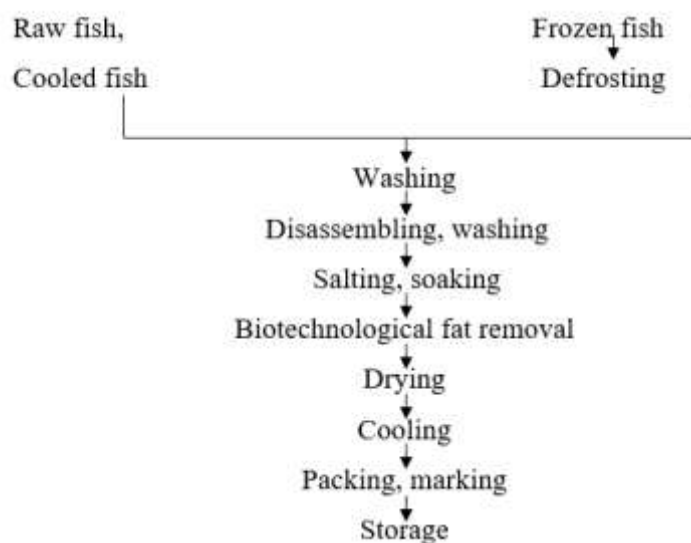


Figure 6. Technological scheme of snack production using biotechnological method of removing subcutaneous fat.

*Washing.* Raw fish and cooled fish should be rinsed with clean running or replacement water to remove mucus, sand and other contaminants at a fish to water ratio of 1:2 before being sent for treatment. The water temperature should not be higher than 15 ° C. Wash the washed fish from 20 minutes to 30 minutes on waste tables or sieves for water drainage and without delay send for further processing.

*Disassembling.* Disassemble the fish into a carcass with a slanted shoulder with a humerus; the abdominal part is cut in a straight line from the main cut and further to the anus; viscera, including caviar or milk, removed; tail fin removed or trimmed at the level of end of the skin. After disassembly, rinse with running water.

*Salting.* Salt the fish in saline with a density from 1.12 g / cm<sup>3</sup> to 1.20 g / cm<sup>3</sup>, with a temperature not higher than 20 ° C. The ratio of the weight of fish and saline solution in the salting capacity should be 1:2. Finish salted fish after reaching the mass fraction of salt in fish from 3 % to 5 %. Salt duration from 7 minutes to 15 minutes depending on the type and size of the fish. The fish unloaded from the salt bath or container shall be allowed to drain saline solution for no more than 2 hours on waste tables (sieves) or in perforated decks. Salt fish with a mass fraction of salt over 5 %, before drying, soak in fresh water or a low salt solution with a density of from 1.02 g / cm<sup>3</sup> to 1.04 g / cm<sup>3</sup> and a temperature not exceeding 10 ° C at the ratio of the weight of fish and water (or salt solution) 1:2. After soaking, the fish should be steeped for 1...2 hours on waste tables (sieves) or in perforated decks to drain excess water.

*Biotechnological fat removal.* After the pickling process, treat the enzyme preparation with a concentration of 0.35 g / ml, a temperature of 35... 40 ° C, a pH of the solution of 7... 8 for 30 minutes. Embankment in a mesh container or in a tub of mechanized lines. The ratio of the weight of fish and enzyme solution in the tank should be 1: 2. Do not reuse the enzyme preparation.

*Drying.* The fish should be laid in a thin layer on metal perforated blankets or on nets, which are placed in several rows in a drying chamber so that they are evenly blown by the flow of heated air at a temperature of 50... 60 ° C. During the drying process, the fish is stirred periodically. The first stirring should be carried out in 1 ... 1,5 hours, the second - in 1 ... 1,5 hours after the first. Drying time from 6 hours to 8 hours.

*Cooling.* Prepare ready-dried salted fish from the oven for cooling into clean dry containers (metal containers, wooden crates or other containers) and after cooling to the working room temperature, pack without delay. Before packing, the dried fish is ready to be passed through a vibrating sieve to remove the dry talus.

*Packaging.* The dried fish is packaged in plastic material bags in accordance with GSTU 15-19 or the applicable regulatory document under vacuum or without vacuum, the maximum mass of the product is 1 kg, followed by their packaging in boxes of corrugated cardboard in accordance with GOST 13516 product weight limit of 10 kg. The dried fish is packaged in plastic bags in accordance with the "Technological Instruction on Packaging of Foods from Fish and Other Water Resources into Plastic Packages".

*Marking.* Mark containers with fish snacks in accordance with GOST 7630 and regulations.

*Storage.* Store fish dried at temperatures from 0 ° C to 25 ° C and relative humidity not more than 75% not more than 10 months.

*Development of freshwater fish chips formulations and technology, evaluation of their quality.* In order to expand the range of snack products from affordable domestic raw materials, recipes and technology for the production of silver chips with the addition of algae and greens were developed. For the production of fish chips formulations were developed, which are shown in table 2.

Table 2.

Formulations of fish chips samples

Name of components	Control	Fish chips with dill	Fish chips with kelp
The silver carp	74,4	74,4	74,4
Butter	3	3	3
Chicken eggs	10	10	10
Milk	5	5	5
Wheat flour	6	6	6
Black pepper	0,6	0,6	0,6
Salt is kitchen	1	1	1
Dill	-	2	-
Seaweed	-	-	2
Total	100	100	100

Chips formulations were selected taking into account the content of their main components: sample 1 - with the addition of dill; sample 2 - with the addition of seaweed, sample 3 - control sample without the addition of dill and seaweed, only on the basis of freshwater fish meat.

The process of production of fish chips consists of the following operations: receiving raw materials, sorting, washing, dismantling, grinding, dismantling of fish on fillets, mixing, molding, drying and baking, packaging in consumer packaging, packaging in transport packaging and realization

Drying of the chips was carried out at a temperature of 105 ° C, followed by measurement of the moisture content at intervals every 5 minutes. The results of the study are shown in Figure 7.

During the research, the time required to dry the finished product was set so that the moisture content did not exceed 5%. Within 20 minutes of drying, the control sample lost - 20.1%, sample 1 - 16.5%, sample 2 - 12.8% moisture.

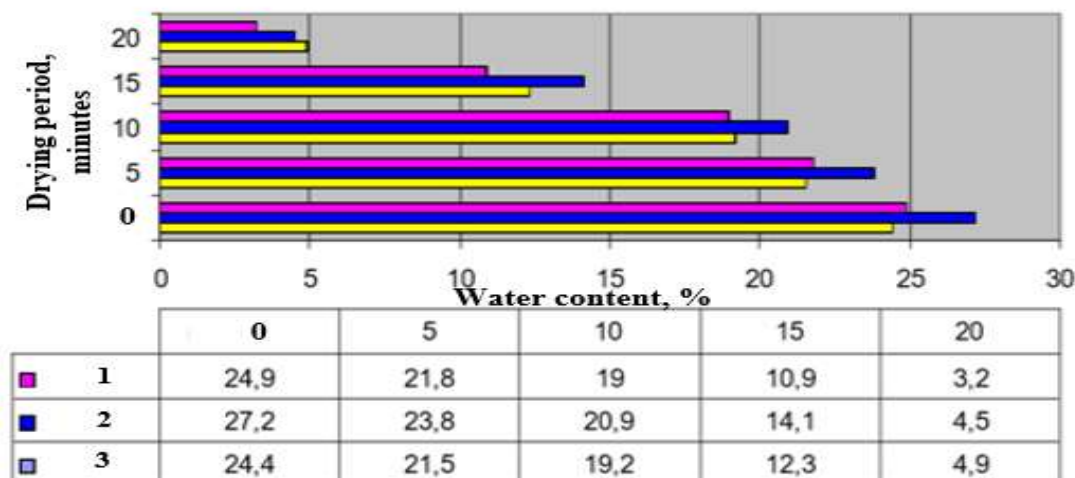


Figure 7. Dependence of moisture loss on drying time:  
1- sample 2, 2 - sample - 3, 3 - control sample.

The fish chips were also evaluated according to their own scale 5, where the total number of control points was 19 points, for the dill sample 21 points and for the cabbage 23 points. The results of the study are shown in Figure 8.

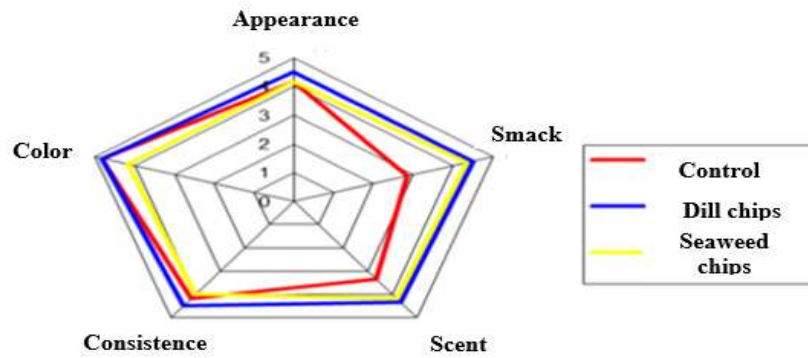


Figure 8. Profile of organoleptic evaluation of fish chips.

As a result of organoleptic studies it was found that fish chips in appearance are inherent in this product. The slices are round and almost identical in size. The color of the chips is golden with a brown tinge on the edges. The taste and odor is inherent, with no extraneous odors. Has a taste of additives - dill for 1 sample, and a taste of seaweed for 2 sample. The consistency is brittle and fragile. The overall comparative analysis makes it possible to confirm that all the samples of fish chips have a positive overall impression, a harmonious fish taste.

Positive studies received indicate that this technology is being continued and needs further development.



## **6.2 Modern technological techniques for improving the quality of smoked sausages**

Smoked sausages belong to the class of meat products that are not subjected to high-temperature processing during their manufacture. They have a high nutritional and biological value, have pronounced specific organoleptic parameters. Culinary readiness and microbiological safety of such products is achieved by a complex of biochemical, microbiological and physico-chemical changes that occur in the sausage semi-finished product under the influence of tissue and microbial enzymes, while observing certain thermal and humidity modes of the process. At the same time, the biotechnological potential of microorganisms present in meat raw materials is used, as well as specially introduced bacterial preparations or so-called "Starting" cultures of a number of microbes [201]. Currently, both in our country and abroad, due to the improvement of the production technology of raw smoked sausages, their range has been significantly expanded [201, 202]. New sausage products with a diverse range of taste and aroma characteristics have been created: semi-dry raw smoked sausages, soft consistency, mini-salami, etc. [202]. Modern technologies for the production of these types of sausages are characterized by the use of new food additives, including animal and vegetable proteins, bacterial starter cultures, as well as the intensification of maturation and drying processes [202, 203]. The share of raw smoked sausages in the domestic assortment is insignificant, but there is a tendency to increase the volume of their production [203]. For the production of raw smoked sausages, various types of raw meat are used: beef, pork, lamb, horse meat [202, 203].

Among the additives used in the production of smoked sausages, first of all, carbohydrates, glucono-Delta-lactone (GDL), ascorbic and isoascorbic acids, ascorbate, sodium isoascorbate and sorbate, sodium chloride and nitrite should be noted. In the last two decades, the concept of active participation of human symbiotic microflora in maintaining its health and the occurrence of many diseases has become increasingly popular. In natural living conditions, there is not a single biochemical

process, not a single function of living organisms that would be carried out without the direct or indirect participation of symbiotic microorganisms in them.

Main groups of probiotics [203, 204]:

- probiotics based on live microorganisms (monocultures or their derivatives);
- probiotics based on metabolites or structural components of microorganisms that are representatives of normal microflora;
- probiotics based on compounds of microbial or other origin that stimulate the growth and activity of Bifidobacteria and lactobacilli - representatives of normal microflora;
- probiotics based on a complex of living microorganisms, their structural components, metabolites in various combinations and compounds that stimulate the growth of representatives of normal microflora;
- probiotics based on genetically engineered strains of microorganisms, their structural components and metabolites with specified characteristics;
- probiotic food products based on live microorganisms, their metabolites, and other compounds of microbial, plant, or animal origin that can maintain and restore health by correcting the microbial ecology of the host body.

Systematic use of probiotic drugs, dietary supplements and food products increases colonization resistance, strengthens the immune system, prevents the development of allergic complications, normalizes the level of histamine and oxalic acid, helps to reduce cholesterol in the blood, antitumor and other positive effects on humans.

Based on this, the creation of probiotics and functional nutrition products based on probiotic strains of microorganisms that have a specific, positive effect on the human body is considered as a strategic direction of Alternative Medicine aimed at maintaining and restoring human health [204, 205].

Prebiotics are defined as indigestible or difficult-to-digest food ingredients that have a beneficial effect on the human body by selectively stimulating the growth or activity of one or a limited number of probiotic bacteria in the colon. This role is played

by fermented carbohydrates, which are not digested or difficult to digest in the small intestine and stimulate the growth of bifidobacteria [203, 205].

As a result, they improve a variety of physiological functions and metabolic responses associated with the functioning of symbiotic microflora (resistance to infections, reduced risk of malignancies in the large intestine, improved absorption of calcium and magnesium, reduced serum cholesterol, etc.).

In order for a food component to be classified as a prebiotic, it must not undergo hydrolysis by human digestive enzymes, but must be a selective substrate for the growth and/or metabolic activation of a single species or certain group of microorganisms, as found in the large intestine, leading to normalization of their ratio.

In practice, a combination of probiotics and prebiotics is often used, which increases their effect on the body and therefore such mixtures are called Symbiotics.

Carbohydrates (sugars) play an important role in the production of smoked sausages. First of all, it is the monosaccharide glucose (grape sugar); disaccharides: sucrose (cane sugar), lactose( milk sugar) and less often maltose, as well as some oligosaccharides (dextrins, starch, dry starch molasses) [205].

Carbohydrates serve as a medium for lactic acid microflora and are food-flavoring additives, to a certain extent, forming the organoleptic properties of the finished product. The level of their introduction into minced meat, depending on the type of sausage products, ranges from 0.2 to 3-4% or more.

Currently the possibility of using lactulose in the manufacture of smoked sausages for preventive purposes is being investigated. This is due to the presence of recognized prebiotic properties in this disaccharide. Scientists have conducted a series of studies on the use of lactulose together with other carbohydrates in the recipes of various types of smoked sausages, both traditional and accelerated maturation. At the same time, sausages with various types of basic raw materials (beef, pork, poultry meat) were studied. The best results in terms of organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters were obtained by combining lactulose with sucrose or glucose in ratios from 1: 3 to 1: 1 with a total introduction of carbohydrates in the

amount of 0.5-1% by weight of the main raw material. Lactulose was found to promote the growth of lactic acid bacteria by 27.6% compared to the control [206, 207].

Lactulose, a chemical isomer of lactose, is a synthetic disaccharide consisting of galactose and fructose. This disaccharide is not found in nature, and therefore humans do not have disaccharidase, which is able to break it down to the corresponding monosaccharides. Ingested lactulose is practically not metabolized or absorbed in the small intestine, but enters the colon unchanged. Under the influence of dysaccharidosis of the saccharolytic microflora, lactulose, like other indigestible carbohydrates, is hydrolyzed to monosaccharides and, ultimately, to short-carboxylic acids of the aliphatic series. This metabolic chain of lactulose conversion with the formation of an excessive amount of short-carboxylic acids of the aliphatic series is responsible for its therapeutic effects in a number of diseases of the digestive system. Long-term studies of lactulose have shown that it provides a number of health-promoting factors:

- vital activity of Bifidobacterium and suppression of harmful bacteria;
- inhibition of toxic metabolites and harmful enzymes;
- promote mineral absorption and strengthen bones;
- stimulating liver functions;
- inhibition of toxic metabolites facilitates the course of liver intoxication;
- reduces blood ammonia levels and relieves symptoms;
- promotes the formation of secondary bile acids;
- anti-carcinogenic effect.

The ability of lactulose to restore and maintain the growth of bifidobacteria has been proven by numerous studies of domestic and foreign scientists. According to the published results of studying 60 strains of intestinal bacteria, their ability to break down lactulose shows that cocci and bacilli, especially lactobacilli, are the most active [204, 205]. In many countries of the world, lactulose is used as a preventive and therapeutic agent for a number of diseases, and especially in the case of dysbacteriotic manifestations. The presence of lactulose is Products of children's, dietary and preventive nutrition, including for newborns: drinks, canned food, dairy, meat, confectionery and bakery products for a wide range of people, these are products with

lactulose, which effectively optimizes the symbiosis of the human body and its microbial ecosystem.

The most important component of the recipes of most modern smoked sausages are bacterial preparations, the so-called Starting and protective cultures [201, 203]. Improvement of the production of smoked sausages has always been based on the presence of a small amount of lactic acid bacteria and bacteria of the genus *Misgosossaceae* in the meat and in the environment of the production room. Before the advent of starter crops, the production of smoked sausages relied on local microflora, which was supported by preliminary salting and grinding of meat, as well as adaptation to climatic conditions during maturation. The main groups of microorganisms used in the production of meat products include, first of all, lactic acid, acetic acid bacteria, Bifidobacteria and yeast. The composition of bacterial preparations for various purposes includes various forms of microorganisms that, as a rule, have the properties of fermentation metabolism: lactic acid rods – *Lactobacillus plantarum*, *L. pentosus*, *L. curvatus*, *L. sake*, *L. Easesi*, *L. alimentarius*, *L. furciminis*; cocci- *Staphylococcus carnosus*, *St. xylosus*, *Pediococcus acidilactici*, *P. Pentosaceus*, *Micricoccus varians*; yeast-like fungi-*Debaromyces hansenii*, *Candida delfii* and mold fungi - *Penicillium nalgiovense*, *P. Camemberti* *candidi-dum*.

Less commonly, bacterial preparations include other types of microorganisms. Bacterial preparations are used in the production of smoked sausages in the form of single, double, triple and more multiple combinations of different types of microorganisms. [201, 202]. The use of bacterial starter cultures creates good prerequisites for the production of smoked sausages with various taste and aroma properties [208].

Thanks to the use of bacterial preparations, it is possible to change the traditional scheme of the technological process and reduce the duration of precipitation and drying processes. At the same time, it is possible to exclude "cold" deposition at a temperature of 2-4°C and use high temperature conditions (24-26 °C) - "warm" deposition, since the duration of maturation is directly dependent on temperature. At the same time, the

drying process is reduced to 20-22 days instead of 30-35. during maturation, bacterial preparations reduce the pH value, which varies from 6.3-5.7 to 5.4-5.0.

The use of starter cultures in the production of smoked sausages leads to the fact that the introduced microflora will dominate all products. Therefore, if you follow the parameters of the technological process, you can be sure of the stability of the color, taste, aroma, acidity and consistency of the finished product in all batches of sausages. The starting culture should be chosen based on the characteristics of the product you want to receive, as well as the available technological equipment. At the same time, it is possible to optimize the technological process, since drying begins immediately after reaching the pH value of 5.3. Thus, the use of starter crops makes it possible to unify the production process and reduce its duration [202, 205].

In a market economy, it is especially important to produce and provide the population with competitive food products and optimize the technological process. Sausage products occupy a large share in the structure of retail turnover. As a source of intake of full-fledged proteins, minerals, saturated and polyunsaturated higher fatty acids, vitamins, and other nutrients. Products of this group are important in the diet of consumers.

### 6.3 Scientific substantiation and development of technology of bechamel sauce of the increased nutritional value

The most important factor that negatively affects the health of people is an unbalanced diet, which against the background of environmental problems can cause quite serious disorders in the human body. According to the Concept of the National Target Program "Health - 2020: Ukrainian Dimension" [209] there is a further deterioration in public health and a decrease in life expectancy by 10 years compared to the European Union.

One of the priority areas for improving the nutrition of the population is the development of technologies for special purpose products aimed at the prevention of food-related diseases. When developing health products, it is necessary to take into account the interaction of individual nutrients with each other, their rational combination, which affects the phenomena of synergism and antagonism in the human body (Fig. 1) [210, 211].

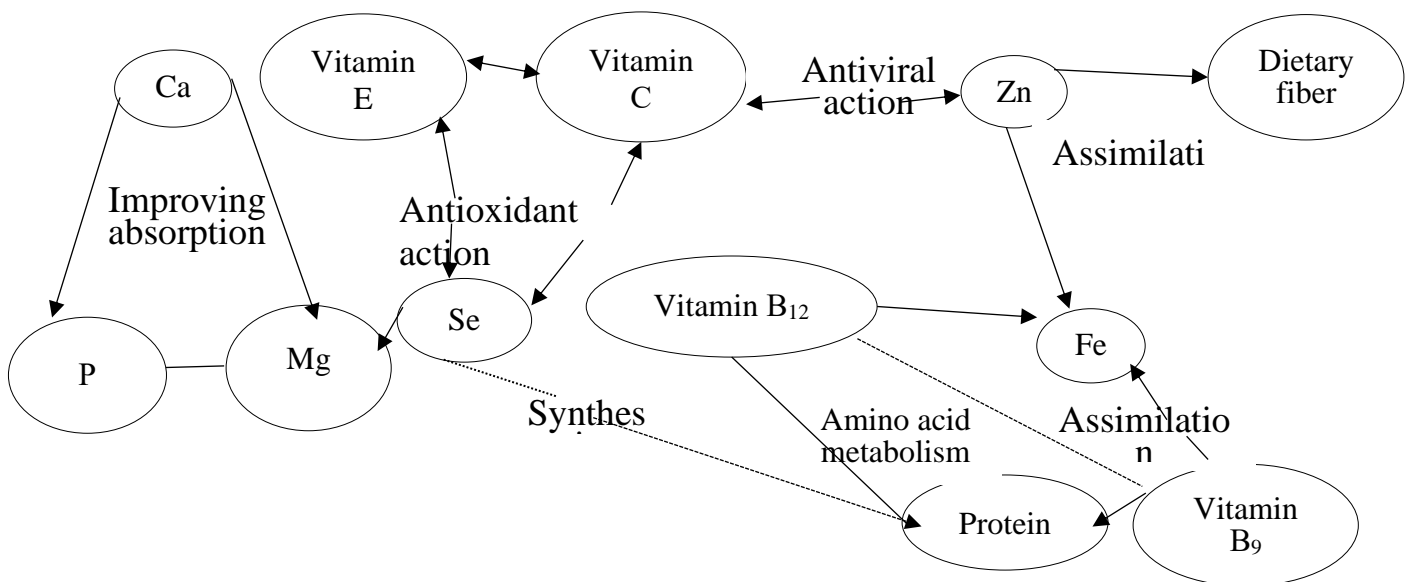


Figure 1. Interaction of nutrients

Among the products of the restaurant industry, a separate segment consists of sauces, which promote better absorption of nutrients by the human body, diversify the range and increase the biological value of dishes.

Sauce - an additional component of the dish, with a characteristic semi-liquid consistency, which is used in the cooking process or served with the finished dish to improve its taste and aroma [212]. In cooking, there are more than three thousand names of sauces, which can be reduced to a single classification (Fig. 2) [213].

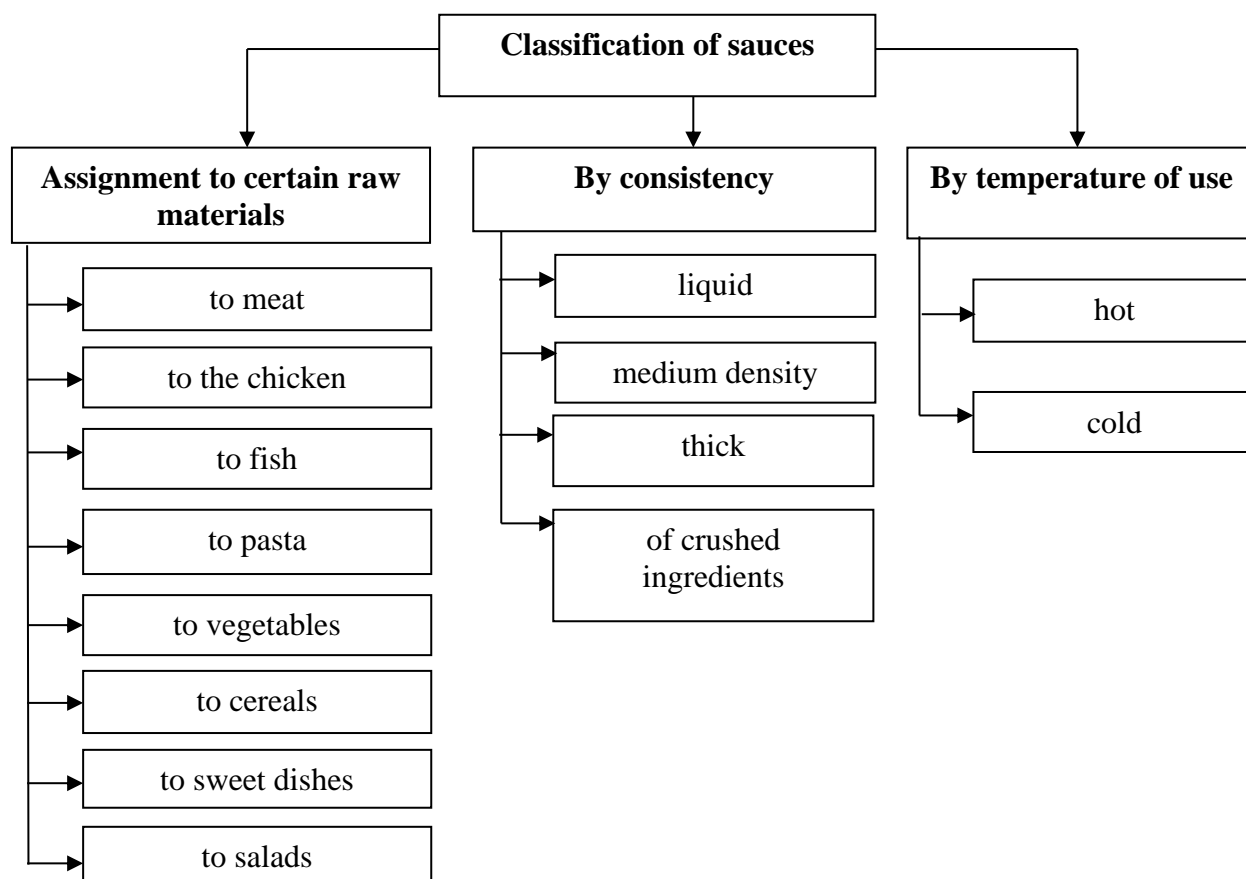


Figure 2. Classification of sauces

However, most of them have an unbalanced chemical composition, namely: increased amounts of saturated fatty acids and low vitamin and mineral content. A promising way to increase the nutritional value of sauces is to increase the deficit of essential substances, due to the combination of traditional raw materials with dietary supplements. This will allow you to get quality and safe products enriched with physiologically important nutrients for the human body.

«Béchamel» sauce is especially popular and is used in cooking: lasagna, pizza, cannelloni and other dishes.

The classic technology of «Béchamel» sauce includes three products: milk, flour and butter. The nutritional value of this sauce is not high.



Wheat flour is a source of proteins, carbohydrates, vitamins B1, B2, PP, organic acids, micro- and macronutrients. At the same time, the chemical composition of this product is characterized by an imbalance of essential nutrients. It is proved that one of the disadvantages of wheat flour is gluten protein.

Gluten is found in four cereals (wheat, rye, barley and oats) and their derivatives. Excessive consumption of gluten-rich foods increases the risk of a number of diseases, including cardiovascular disease, cancer, anemia, osteoporosis, rheumatoid arthritis, multiple sclerosis, autoimmune diseases, gastrointestinal disorders and many others. In addition, wheat flour has a high glycemic index, which increases insulin levels, and hence increases the risk of diabetes.

Recently, the number of people with genetically determined gluten intolerance (celiac disease), who should eat only gluten-free foods, is increasing.

Celiac disease (gluten disease) is an inherited autoimmune disease of children and adults caused by persistent intolerance to gluten.

The use of gluten by patients leads to the formation of antibodies, as a result of which the disease manifests itself in the form of impaired intestinal absorption and other diseases that occur as a result of inflammatory bowel damage.

Celiac disease is found in all countries of the world. Another name for this disease is gluten enteropathy. Celiac disease is the most common genetic disease in Europe. In Italy, about 1 in 250 people in Ireland - 1 in 300 suffer from celiac disease. Celiac disease is very rarely found in Africa, Japan, China, where the diet is preferred gluten-free products based on sorghum, millet, rice. According to estimates, there should be up to 450 thousand patients with celiac disease in Ukraine [214].

In order to expand the range and improve the nutritional value of dishes using Béchamel sauce for further research, it was chosen to replace wheat flour with amaranth.

Amaranth (from the Greek - eternal) - a new culture for our country, which is able to fill the deficiency of protein, vitamins and trace elements in the human diet. It has a high yield, high content of vitamins, minerals, proteins and their balance, a unique ability to adapt to different environmental conditions [215].

Evidence of the high biological significance of amaranth are also the results of determining the qualitative and quantitative composition of amino acids. Amino-acid score proteins have a high biological value. Amino acid score for amaranth flour protein on valine is 112.8%, leucine - 86.4%, isoleucine - 110.0%, lysine - 178.2% (for wheat flour this figure does not exceed 57%), methionine + cystine - 115.5%, threonine - 127.2%, phenylalanine + tyrosine - 146.9%, tryptophan - 287.2%. The amount of essential amino acids in amaranth flour protein is 17.6 g / 100 g of protein [215].

Amaranth seed processing products are amaranth flour and amaranth meal, which can be used as protein substitutes in the production of products with high biological value [216].

Data on the comparative characteristics of amaranth flour and wheat flour are given in table 1 [217, 218, 219].

*Table 1*

*Comparative characteristics of amaranth flour and wheat flour*

<b>Index</b>	<b>Amaranth flour</b>	<b>Wheat flour</b>
Proteins	16,0	10,3
Fats	6,5	1,1
Carbohydrates	54,5	69,0
Cellulose	0,85	0,1
Minerals, mg		
Sodium	22,0	3,0
Potassium	520,3	122,0
Calcium	215	18,0
Magnesium	16,0	16,0
Iron	21	1,2
Vitamins, mg		
Thiamine	1,5	0,2
Riboflavin	0,2	0,0
Nicotinic acid	0,5	1,2

Comparative characteristics of amaranth flour and wheat flour showed that the content of individual components of these products differ. The chemical composition of amaranth flour differs significantly in the content of proteins, fats, carbohydrates, minerals and vitamins.

In order to develop the technology of «Béchamel» sauce for health purposes, a series of technological studies was carried out, determining the rational ratio of raw

materials and technological parameters of sauce preparation. The substitution of wheat flour in the recipe of «Béchéamel» sauce for amaranth flour from 50%, 80% and 100% was investigated, the model compositions are shown in table 2.

*Table 2*

*Model compositions (MK) of Béchéamel sauce with the addition of amaranth flour (per 100 g)*

Raw materials	Control sample	Model compositions with the addition of amaranth flour		
		№1	№2	№3
Wheat flour	34	17	7	-
Amaranth flour	-	17	27	34
Butter	20	20	20	20
Milk	45	45	45	45
Salt	0,5	0,5	0,5	0,5
Sugar	0,4	0,4	0,4	0,4
Nutmeg	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>The output of the finished sauce</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Based on technological developments, it is determined that 100% replacement of wheat flour with amaranth does not worsen the structural performance of the finished sauce «Béchéamel». Organoleptic characteristics of «Béchéamel» sauce with the addition of amaranth flour are shown in table 3.

*Table 3*

*Organoleptic evaluation of «Béchéamel» sauce*

Index	Control sample	Model composition №3
Appearance	The dense, homogeneous, without lumps	The dense, homogeneous, without lumps
Taste	Pleasant, corresponds to the ingredients	Pleasant, corresponds to the ingredients
Scent	Passer flour, milk and butter, without burnt smell	Passer flour, milk and butter, without burnt smell
Color	Creamy	Creamy
Consistence	Homogeneous, without foreign inclusions	Homogeneous, without foreign inclusions

Organoleptic characteristics of the developed «Béchéamel» sauce are shown in Figure 3.

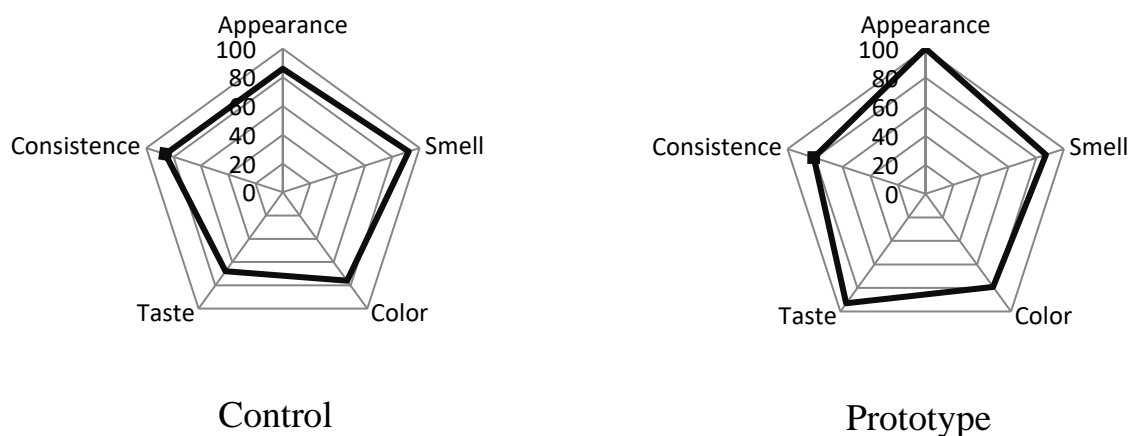


Figure 3. Organoleptic profiles of «Béchamel» sauce

The nutritional value of «Béchamel» sauce with the addition of amaranth flour was calculated (Table 4).

Table 4

*Nutritional value of «Béchamel» sauce with the addition of amaranth flour  
(g / mg per 100 g)*

Index	Control	Prototype	Difference,%
Proteins	4,95	6,89	39,14
Fats	18,00	19,84	10,20
Carbohydrates	25,65	20,72	-19,22
Cellulose	0,03	0,29	750,00
Energy value, kcal	289,24	293,68	1,54
<b>Minerals, mg</b>			
Sodium	1,02	7,48	633,33
Potassium	44,48	179,90	304,46
Calcium	6,12	73,10	1094,44
Magnesium	5,44	6,65	22,24
Iron	0,41	7,14	1650,00
<b>Vitamins, mg</b>			
Thiamine	0,068	0,510	650,00
Riboflavin	0,010	0,068	580,00
Nicotinic acid	0,408	0,170	-58,33

Indicators of table 4 show that the replacement of wheat with amaranth flour has a positive effect on the nutritional value of the sauce. The protein content improved by 39%, the vitamin composition of the sauce significantly increased due to the introduction of carrot powder.

Taking into account the results of previous research on the recipe composition and rational technological parameters of Bechamel sauce production with the addition of amaranth flour, taking into account the data of the analysis of patent sources and scientific literature, the technological scheme of the sauce was developed. To prepare the béchamel sauce with amaranth flour, melt the butter and fry the flour on it for 1 minute. Add the milk gradually, stirring constantly. Boil the mixture until thickened. Add salt, nutmeg, boil the mixture for 1-2 minutes.

Based on the results of the research, a quality model of «Béchéamel» sauce with amaranth flour was built, which takes into account organoleptic parameters and the content of dietary fiber, minerals, vitamins and energy value.

The energy value was defined as the inverse, the lower the value of the developed sauce, the better the data will be reflected in the quality model (Figure 4).

The results of the evaluation of the quality of the developed dish in comparison with the traditional one show that the quality indicators of the sauce exceeded the control ones due to the improvement of the nutritional value.

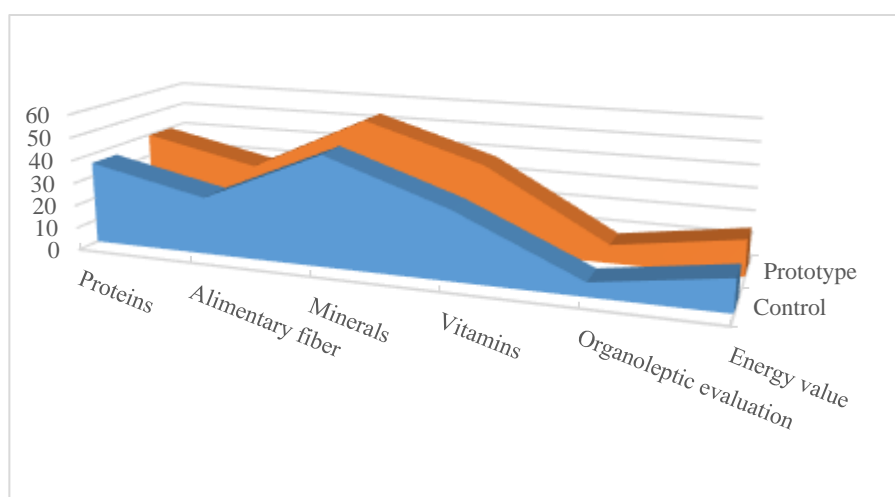


Figure 4. Model of quality of "Béchéamel" sauce with the addition of amaranth flour

One of the promising areas of use of the developed sauce in lasagna technology. The classic lasagna recipe includes six layers of semi-finished dough, meat filling, «Béchéamel» sauce and cheese. Forming lasagna, you need to grease the baking dish

with olive oil. Lay out the lasagna sheets on top. They have minced meat with bolognese sauce. Spread «Béchamel» sauce on top. Cover with lasagna sheets. Repeat the operation 6 times. Sprinkle with grated cheese on top. Bake in a preheated oven.

The calculated nutritional value of lasagna using amaranth flour and improved «Béchamel» sauce is given in table 5.

*Table 5*

*The chemical composition of lasagna of high nutritional value*

<b>Substances of chemical composition</b>	<b>Lasagna classic</b>	<b>Lasagna with amaranth flour</b>	<b>Difference</b>
Protein, g	13,25	21,50	8,25
Fats, g	12,24	11,82	-0,42
Carbohydrates	64,65	56,15	-8,50
Including dietary fiber	2,41	19,74	17,33
Energy value, kcal	360,62	312,51	-48,11

Comparing the chemical composition of the control and experimental samples, we can conclude that the amount of carbohydrates decreased by 8,5 %, and the content of dietary fiber increased by 17,33 %. The protein content in the test sample increased by 8,25%.

According to the results of the analysis of scientific and patent sources, the urgency of developing the technology of gluten-free sauces of high nutritional value, which are in demand in the preparation of culinary products of Italian cuisine, is substantiated and proved. The use of amaranth flour improves the organoleptic characteristics of the dish and the nutritional value of the dishes.

Thus, the developed sauce will expand the range of dishes of Italian cuisine of high nutritional value.

## 6.4 Оптимізація окремих ступенів випарки цукрового виробництва

В енерготехнологічній системі виробництва цукру найбільші втрати ексергії (майже 72 %) припадають на варіння утфелей тому саме цим процесам приділяється найбільша увага. Для відділення випарки типового цукрового заводу був розроблений метод термoeкономічної оптимізації [220] (за величиною температурного напору в окремих ступенях).

Задача локальної оптимізації зводиться до мінімізації річних термoeкономічних витрат на систему випарки в цілому:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma}^{opt*} &= \min \sum_{i=1}^m Z_i = \min(Z_{e\Sigma} + Z_{k\Sigma}) = \\ &= \min\left(\sum_{i=1}^m Z_{ei} + \sum_{i=1}^m Z_{ki}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

тут  $Z_{ei}$  – вартісне вираження річних енергетичних витрат, що розраховуються за відповідними втратами ексергії в  $i$ -тому (блоці, ступені) елементі  $Z_{ei} = C_e \Pi_i \tau_y$ , де  $C_e$  – ціна палива, перерахована на один кДж його ексергії;  $\Pi_i$  – втрати ексергії в  $i$ -тому елементі,  $\tau_y$  – час роботи системи за рік;  $Z_{ki} = \varphi_y K_i$  – річні капітальні і пов'язані з ними витрати;  $K_i$  – капітальні вкладення в  $i$ -тий елемент при здачі об'єкта в експлуатацію «під ключ»;  $\varphi_y$  – узагальнений річний коефіцієнт окупності капітальних вкладень. У подальших розрахунках прийнято:  $\tau_y = 3000$  годин на рік, ексергія палива (природний газ з теплотою згорання 36522 МДж/м<sup>3</sup>), ціна природного газу 0,354 USD/м<sup>3</sup>. При цих умовах  $C_e = 9,69 \cdot 10^{-6}$  USD/кДж.  $K_i$  (в USD) розраховувалися за емпіричною формулою

$$K_i = K_1 + \psi A_{si}^{0,87}, \quad (2)$$

де  $K_1 = 15000$  USD – вартість монтажу та наладки кожного із ступенів випарки;  $\psi = 400$  USD – коефіцієнт вартості теплообмінної поверхні  $A_s$ , м<sup>2</sup>, об'єднаний річний коефіцієнт окупності капітальних вкладень для випарних апаратів  $\varphi_y = 0,1908$ .

Основна частина втрат ексергії обумовлена теплообміном при кінцевій різниці температур, тому в якості незалежної змінної при термoeкономічній оптимізації була обрана величина температурного напору в кожному із ступенів  $\Delta T_i = T_{hi} - T_{ci}$ , де  $T_{hi}$  – температура гріючої (яка конденсується) пари;  $T_{ci}$  – температура технологічного (киплячого) розчину, що гріється  $i = 1, 2, \dots, m$ , де  $m$  – число ступенів. При цьому кожен із ступенів характеризується своїм мінімальним значенням термoeкономічних витрат  $Z_i^{opt}$ , що відповідають значенням  $\Delta T_i^{opt}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . Існування для кожного ступеня свого локального мінімуму  $Z_i^{opt}$  пояснюється тим, що зі зростанням  $\Delta T_i$  збільшується величина  $Z_{ei}$ , тому що збільшуються втрати ексергії, і зменшується величина  $Z_{ki}$ , оскільки зменшується поверхня теплообміну ступеня, а, отже, їх сума  $Z_i$  (1) буде мати мінімум (рис.1).

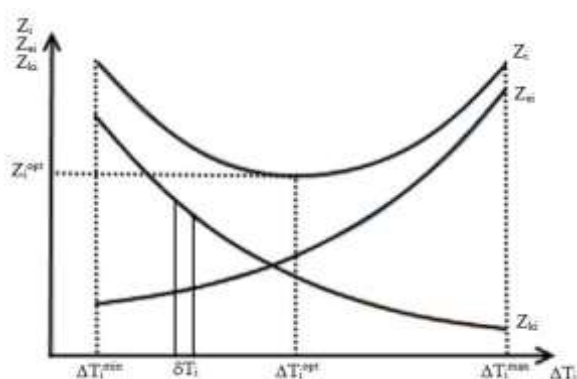


Рисунок 1. Залежність термoeкономічних витрат в  $i$ -тому ступені від величини температурного напору в цьому ступені

Пошук оптимального значення методом Гауса-Зейделя в силу унімодальності функції  $Z_i(\Delta T_i)$  проводиться для кожного із ступенів  $i = 1, 2, \dots, m$  шляхом послідовного порівняння  $Z_i$ , отриманого на даному кроці ітерації, з попереднім, і, якщо знайдене значення менше, то переходять до наступної ітерації. Розрахунок закінчується в тому випадку, якщо знайдене значення  $Z_i$  стає більше, ніж значення  $Z_{i-1}$ , що отримане на попередньому кроці, яке і буде оптимальним. Потім розраховуються сумарні термoeкономічні витрати по (1). Відповідно, задається інтервал зміни величин температурних напорів  $\Delta T_i^{min} \leq \Delta T \leq \Delta T_i^{max}$  і крок зміни цього напору  $\delta T_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . Для зручності розрахунків



можна прийняти  $\Delta T_i^{\min} = \Delta T^{\min}$ ,  $\Delta T_i^{\max} = \Delta T^{\max}$ ,  $\delta T_i = \delta T$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , тобто як інтервал, так і крок зміни температурного напору для всіх ступенів можуть прийматися однаковими. Значення  $Z_i^{\text{opt}}$  потім корегується шляхом пошуку з більш дрібним кроком  $\delta T_i'$  (рис. 2) поблизу точки  $\Delta T_i^{\text{opt}}$ .

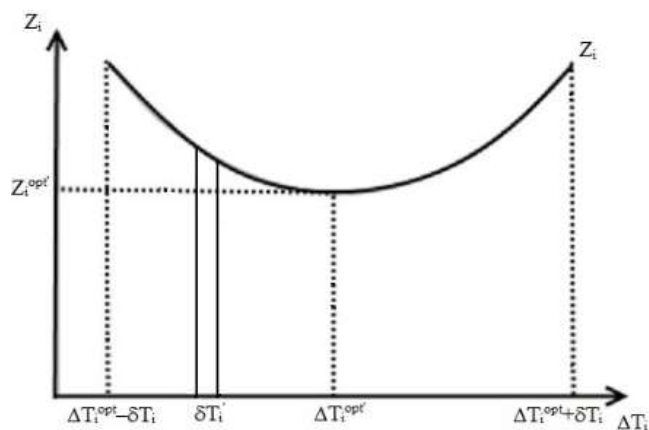


Рисунок 2. Уточнене значення оптимального температурного напору в  $i$ -тій ступені і відповідна йому величина мінімальних термoeкономічних витрат.

Розрахунок оптимальних характеристик для першого ступеня випарки.

У розрахунках, виходячи з технологічних обмежень, прийняті: граничні значення температурних напорів  $\Delta T_i^{\min} = \Delta T^{\min} = 4 \text{ K}$ ,  $\Delta T_i^{\max} = \Delta T^{\max} = 20 \text{ K}$  «великий» крок зміни температурного напору  $\delta T_i = \delta T = 2 \text{ K}$ ; «дрібний» крок зміни температурного напору  $\delta T_i' = \delta T' = 0,1 \text{ K}$ .

Отримані значення оптимальних температурних напорів і локальних оптимумів річних термoeкономічних витрат для першого ступеня, наведені в табл.1., відкориговані в табл. 2.

Таблица 1.

Значення температурного напору та річних термoeкономічних витрат в першому ступені (оптимальні величини виділені)

Температурний напір, $\Delta T_1$ , К	Температура гріючої пари, $T_{h1}$ , К	Поверхня теплообміну, $A_{s1}$ , м <sup>2</sup>	Втрати ексергії, $\Pi_1$ , Вт	Вартісне вираження річних ексергетичних витрат, $Z_{e1}$ , USD/year	Річні капітальні та зв'язані з ними витрати, $Z_{k1}$ , USD/year	Річні термoeкономічні витрати, $Z_1$ , USD/year
4	403	4221	221555	23192	111710	134903
6	405	2814	330692	34617	79355	113973
<b>8</b>	<b>407</b>	<b>2110</b>	<b>438756</b>	<b>45929</b>	<b>62418</b>	<b>108348</b>
10	409	1688	545764	57131	51909	109041
12	411	1407	651730	68224	44715	112939

У програмній реалізації саме ці відкориговані значення використовуються в якості  $Z_i^{opt}$ .

Знайдене значення температурного напору перевищує відповідне у існуючій системі випарки на 2,6 °С.

Підтримання такого збільшеного температурного напору у першому ступені дозволить зменшити річні витрати в цьому ступені на 3800 USD.

Слід зазначити, що знайдені значення  $\Delta T_i^{opt}$  в силу жорсткої прив'язки до технологічного ланцюжка кожного ступеня вимагають взаємного узгодження, тому що потоки, які виходять з попередніх ступенів, одночасно входять в наступні, а, отже, температурний рівень процесів в ступенях повинен узгоджено змінюватися, змінюючи тим самим величину термoeкономічних витрат.

Таблица 2.

Уточнені значення температурного напору та річних термoeкономiчних витрат в першому ступенi (оптимальнi величини видiленi)

Температурний напір, $\Delta T_1$ , К	Температура грiючої пари, $T_{h1}$ , К	Поверхня теплообміну, $A_{s1}$ , м <sup>2</sup>	Втрати ексергії, $\Pi_1$ , Вт	Вартiсне вираження рiчних ексергетичних витрат, $Z_{e,1}$ USD/year	Рiчні капiтальнi та зв'язанi з ними витрати, $Z_{k,1}$ USD/year	Рiчні термoeкономiчнi витрати, $Z_1$ , USD/year
7,9	406,9	2137	433378	63 073	45 367	108 440
8,0	407,0	2110	438756	62 418	45 929	108 348
8,1	407,1	2084	444132	61 778	46 492	108 270
8,2	407,2	2059	449504	61 152	47 055	108 207
8,3	407,3	2034	454874	60 541	47 617	108 158
8,4	407,4	2010	460242	59 943	48 179	108 122
8,5	407,5	1986	465607	59 358	48 740	108 099
<b>8,6</b>	<b>407,6</b>	<b>1963</b>	<b>470969</b>	<b>58 786</b>	<b>49 302</b>	<b>108 088</b>
8,7	407,7	1941	476328	58 226	49 863	108 090
8,8	407,8	1919	481685	57 679	50 423	108 103
8,9	407,9	1897	487039	57 142	50 984	108 127
9,0	408,0	1876	492391	56 617	51 544	108 162
10,0	409,0	1688	545764	51 909	57 131	109 041

## **6.5 Розроблення способу виробництва функціонального збагачувача антиоксидантної дії на основі плодів помело та контроль його якості**

Вивчення та раціональне корегування харчування, зосередження уваги науковців та суспільства на сучасних проблемах харчування населення країни та їх подальшому розвитку є актуальною проблемою сьогодення, оскільки є гарантією сталого забезпечення та зміцнення здоров'я людини на оптимальному рівні, профілактики аліментарних захворювань, зниження ризику виникнення неінфекційних захворювань серед населення [221].

Довготривалий науковий пошук призвів до нової ідеї щодо необхідності створення, виробництва та реалізації удосконалених харчових продуктів, які за компонентним складом нутрієнтів будуть адекватні потребам сучасної людини. Так виникли харчові продукти оздоровчого та функціонального призначення [222].

Фізіологічно функціональні харчові продукти потребують гарантованого вмісту певного функціонального інгредієнту в кількостях від 10 до 50% добової потреби людини в ньому, тому саме вони адекватні нутритивним потребам людини. Їх широке використання дозволить: ліквідувати дефіцит есенціальних харчових речовин; підвищити неспецифічну резистентність організму до впливу несприятливих чинників навколишнього середовища; посилити й прискорити виведення ксенобіотиків з організму; індивідуалізувати харчування конкретної людини в залежності від потреб не тільки за віком, статтю, інтенсивністю фізичного навантаження, а й у зв'язку з його генетично зумовленими особливостями біохімічної конституції, біоритмами, фізіологічним станом, а також екологічними умовами зони проживання; задовольнити змінені фізіологічні потреби у харчових речовинах хворої людини. Споживання таких продуктів дозволяє адаптуватись до умов зовнішнього середовища, запобігти виникненню захворювань, прискорює процеси одужання, попереджає передчасне старіння [223].

Традиційні харчові продукти стають оздоровчими у результаті збагачення їх складу корисними для здоров'я людини інгредієнтами, які здатні підвищувати опірність організму до захворювань, поліпшувати фізіологічні функції, забезпечувати активне творче довголіття. Сукупність названих властивостей свідчить про можливість істотної перебудови метаболічних процесів в організмі за допомогою спеціально підібраної структури харчування, в основі якої лежить обґрунтований вибір нутрієнтів, адекватних потребам людини в конкретних умовах життєдіяльності [224].

В Україні та світі триває пошук нових джерел функціональних інгредієнтів для виробництва оздоровчих продуктів. Все більш широке використання для збагачення харчових основ знаходять натуральні добавки з рослинної сировини, які містять значну кількість вітамінів, антиоксидантів, харчових волокон, мінеральних речовини тощо. На світовому ринку значно виріс асортимент дієтичних добавок – радіопротекторів, антиоксидантів, натуральних вітамінних добавок, харчових волокон, концентратів та ізолятів білків тощо. Все більшу цікавість виробників та споживачів викликають натуральні збагачувачі – джерела функціональних інгредієнтів, які можуть бути використані як в індивідуальному харчуванні, так і при виробництві оздоровчих, функціональних та лікувально-профілактичних харчових продуктів на зерновій, молочній, м'ясній та плодово-овочевій основі.

Цінною сировиною для створення функціонального збагачувача у вигляді пюре може бути помело – цитрусовий плід округлої форми, жовто-зеленого забарвлення і досить великого розміру: він може важити до 2-3 кг. Помело – це цитрус із низькою калорійністю. В 100 г продукту міститься лише 35 ккал, при цьому спостерігається великій вміст кальцію і калію, натрію і фосфору, а також заліза. В ньому присутні цінні вітаміни групи В, а також А і С, ефірні олії та антиоксиданти.

При регулярному вживанні помело позитивно впливає на стан серцево-судинної системи, підвищує рівень гемоглобіну, знижує рівень цукру в крові, підвищує фізичну активність, працездатність і витривалість [225].

Оскільки цей вид сировини є досить новим і малодослідженим, то ми визначили його біохімічний склад та порівняли його зі складом інших цитрусових плодів. Результати експериментальних досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

## Біохімічний склад цитрусових плодів

Вид цитрусових плодів	Загальний вміст цукрів, %	Вміст аскорбінової кислоти, мг	Загальний вміст флавоноїдів, %	
			у м'якоті	у шкірці
Помело	7,11±0,28	54,61±0,22	4,46±0,14	7,48±0,18
Апельсин	7,34±0,22	59,22±0,19	3,84±0,11	4,07±0,17
Лимон	1,39±0,15	40,46±0,23	3,98±0,12	5,13±0,19
Грейпфрут	6,11±0,21	25,14±0,27	5,11±0,10	7,46±0,19
Мандарин	7,05±0,22	57,44 ±0,26	5,22±0,14	7,68±0,24

Встановлено, що всі цитрусові плоди містять високу кількість речовин з антиоксидантними властивостями. За вмістом аскорбінової кислоти м'якоть плодів помело дещо поступається апельсину та мандарину, але перевершує лимон та грейпфрут. За кількістю флавоноїдів у шкірці кращим за помело є лише мандарин, а у м'якоті – мандарин та грейпфрут.

При створенні продукції оздоровчого призначення надзвичайно важливими є показники якості та безпеки, тому необхідно приділяти увагу не тільки встановленню кількісного вмісту цінних функціональних інгредієнтів, а й визначенню наявності речовин, що негативно впливають на здоров'я споживачів. Тому було досліджено вміст нітратів у цитрусових плодах (таблиця 2). Вміст нітрат-іонів у фруктах не повинен перевищувати 60 мг/кг. Всі зразки цитрусових плодів відповідали даному критерію. При цьому плоди помело мали найнижчий вміст нітрат-іонів серед усіх досліджених зразків продукції.

## Вміст нітрат-іонів у цитрусових плодах

Вид цитрусових плодів	Вміст нітрат-іонів, мг/кг
Помело	30,2±0,43
Апельсин	31,2 ±0,37
Лимон	33,6±0,27
Грейпфрут	44,2±0,44
Мандарин	48,9±0,29

Для забезпечення можливості стабільного постачання виробників оздоровчих продуктів сезонною рослинною сировиною, запропоновано переробляти плоди помело на пюре. Будова, біохімічний склад і структура цитрусових плодів обумовлюють особливості способу їх технологічного перероблення. Ми вважаємо доцільним попередньо розділяти плід на сік та вичавки, останні необхідно бланшувати та подрібнити і лише після цього змішати із соком і цукровим сиропом та провести термічну обробку пюре.

Технологічна схема отримання пюре з плодів помело включає такі операції: миття плодів, їх інспектування, очищення від шкірки, віджимання соку на вальцях, подрібнення вичавок, бланшування, протирання пюре, змішування компонентів, термічну обробку, гаряче асептичне фасування та зберігання. Вичавки обробляють на дробарці і потім бланшують у шахтному ошпарювачі. Розварену масу послідовно подають у протиральні машини з діаметром отворів 1,2 та 0,8 мм. Сік і пюре направляють у збірник, пропускають через фінішер діаметром отворів 0,6...0,8 мм, змішують з цукровим сиропом, доведеним до кипіння, і проводять термічну обробку. Готове пюре розфасовують гарячим у асептичних умовах.

Такий спосіб виробництва має ряд переваг і в першу чергу дозволяє скоротити тривалість термічної обробки цінних біологічно активних речовин соку цитрусового плода помело. При цьому вичавки, які містять значну кількість міцних перегородок, вдається розм'якшити і подрібнити до однорідної консистенції.

Було проведено дослідження змін біохімічного складу пюре помело у порівнянні зі свіжими плодами, результати відображені у таблиці 3.

Таблиця 3

## Порівняння біохімічного складу плодів та пюре помело

Показник	Плоди помело	Пюре помело
Аскорбінова кислота, мг	54,61±0,22	36,22±0,14
β-каротин, мг	0,11±0,005	0,10±0,005
Харчові волокна, г	1,32±0,04	1,28±0,03
Пектин, г	0,85±0,01	0,82±0,01
Фенольні сполуки, мг	4569,2±1,44	4494,1±2,23

Рівень збереження досліджених нутрієнтів у пюре помело досить високий, навіть аскорбінова кислота руйнується лише на 33%, що пов'язано з особливостями виробництва пюре шляхом попереднього відділення соку.

Надзвичайно важливими є органолептичні показники розробленого функціонального збагачувача. Саме вони визначатимуть привабливість продукту для споживача та можуть сильно вплинути на властивості тих харчових основ, до складу яких буде внесений збагачувач. Органолептичні властивості пюре помело представлені у таблиці 4.

Таблиця 4

## Органолептичні властивості пюре помело

Показник	Пюре помело
Зовнішній вигляд	Однорідна пюреподібна маса
Консистенція	Помірно густа, в'язка
Колір	Світло-жовтий
Аромат	Яскраво виражений приємний цитрусовий аромат
Смак	Гармонійний цитрусовий кисло-солодкий смак

Отримані результати свідчать, що пюре помело володіє привабливими органолептичними властивостями. Воно є однорідним, у міру в'язким, має приємні смакові якості, гарний колір та яскравий аромат.

Фізико-хімічні показники якості пюре помело наведені у таблиці 5.



## Фізико-хімічні властивості пюре помело

Показник	Пюре помело
Сухі речовини, %	14,6
Розчинні сухі речовини, %	13,1
Активна кислотність, рН	4,4
Масова частка титрованих кислот, у перерахунку на яблучну, %	0,33

Проведені дослідження підтвердили, що отримане за запропонованим способом виробництва пюре помело володіє високими показниками якості. Воно є джерелом речовин з антиоксидантними властивостями і може бути ефективно використано при створенні продукції оздоровчого призначення.

**SECTION 7. HISTORY****7.1 Історичний аспект застосування світлових засобів в архітектурі України**

Архітектурна практика застосування світлових засобів України розглянута у двох часових періодах: період 70-80-х років ХХ століття, та період 90-х років ХХ ст. - початок ХХІ ст. На цих засадах можна виділити декілька наукових роботах, що знаходяться в ареалах проблеми, яка розглядається в даному дослідженні.

Всередині ХХ ст. автори діючих норм інсоляції віддавали перевагу біологічному ефекту інсоляції, так як саме в Європейських державах проводилися найбільш широкі теоретичні і експериментальні дослідження в області визначення ресурсів інсоляції та її впливу на біологічні об'єкти. Критеріями для встановлення норм інсоляції служать два чинники: психоестетичний (на підставі загальножитлових уявлень і статистичних даних західних досліджень) та біологічний вплив інсоляції (на підставі досліджень впливу інсоляції на біологічні об'єкти, проведені в Європі) [226, с. 12].

М.В. Оболенський вважає, що в екстремальних кліматичних умовах доцільно виділяти головний із цих двох факторів, які знаходяться в діалектичній єдності. Наприклад, на Крайній Півночі основне значення має психоемоційний ефект, який визначається тривалістю інсоляції, а в близькосхідному регіоні – фізіологічний ефект теплового та світлового дискомфорту.

В рамках парадигми нових типів розселення, яка панувала у другій половині ХХ ст., Р. Борисовським була запропонована ідея «Висячого міста». «Будинок-планети» – це мікрорайони з внутрішнім ізольованим простором. Для природного освітлення блоків-квартир між ними є розриви, а в самому верху – великий отвір. Внутрішній простір «будинку-планети», утворений блоками-квартирами, забезпечений відповідним мікрокліматом.

Засновником геометричного моделювання просторових конструкцій слід вважати Заслуженого діяча науки і техніки України, доктора технічних наук, професора О.Л. Підгорного.

В науковому дослідженні Є.В. Пугачова «Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно до будівельної світлотехніки» (Київський національний університет будівництва та архітектури 2001 р.) розвинені нові методи будівельної світлотехніки з урахуванням складної форми, запропоновані геометричні моделі розрахунку світло втрат в сонцезахисних пристроях.

В дослідженні Д.В. Єршової «Просторове моделювання природного освітлення приміщень» (Київський державний технічний університет будівництва та архітектури, 1996 р.) розроблялись методи просторового моделювання природного освітлення.

Проблематиці геометричного моделювання надходження сонячної радіації на поверхні просторових покриттів архітектурних об'єктів присвячені наукові розробки В.Л. Мартинова (Київський інженерно-будівельний інститут, 1993 р.) і В.І. Заприводи (Київський національний університет будівництва та архітектури, 2002 р.). Геометричне моделювання відбитих енергетичних потоків в геліотехніці досліджував О.Т. Дворецький.

Питання архітектурної світлології як науки про світлове середовище в будинках і спорудах розглядаються у навчальному посібнику вітчизняних авторів Скриль І.Н. та Скриль С.І. Зокрема в ньому вказується на необхідність уточнень для України світло-кліматичного районування, яке було складено у формі карти ще в середині ХХ ст. і виконано на основі розрахунків зовнішньої освітленості для різних районів і міст території Євразії. Територія України за цим районуванням входить до двох зон: IV та V зі світло-кліматичними коефіцієнтами відповідно 0,9 і 0,8 (Рис. 1, Рис.2, Рис.3), на яких представлені композиційні засоби формування світлового архітектурного середовища у традиційному українському народному житлі [227].

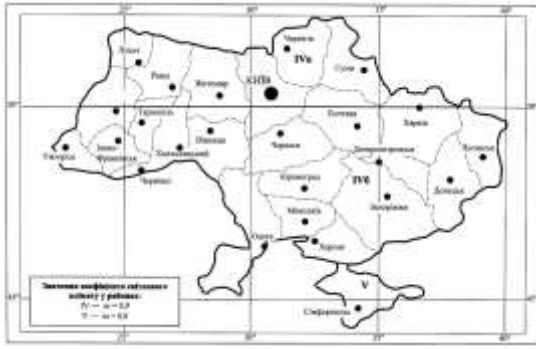


Рис. 1.  
Карта світлового клімату території України За ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [228].



Рис. 2.  
Світлотіньове виявлення тектоніки фасадів українського народного житла. Архітектурно-конструктивні типи “піддашків”, кінець XIX - початок XX ст.



Рис. 3.  
I - райони розповсюдження:  
Східні – II - Черкаська область;  
III, IV -Полтавська область;  
V - Луганська область;  
Західні - VI - Івано-Франківська область;  
VII - Львівська область;  
VIII, IX - Закарпатська область.

В даний час спостерігається обмеженість світових енергетичних ресурсів. Тому піднімається відповідальність архітекторів за забезпечення комфорту при мінімальній енергетичній витраті у проєктованих будівлях. В хорошій архітектурі оболонка будівлі повинна ефективно поєднувати всі проєктні параметри, включаючи планування, конструкцію, тепловий, світловий комфорт і технологічні функції, при оптимальних капітальних і експлуатаційних витратах як у грошовому вираженні, так і в одиницях енергії [227].

В контексті проблеми формування комплексу світлових засобів в архітектурі слід відзначити розроблену цими авторами структурну схему-діаграму взаємозв'язку щільності міської забудови з мікрокліматом і просторовим середовищем (Рис. 4).



Вплив інсоляції на навколишнє середовище надзвичайно різноманітний. Особливо різнобічний її вплив у містобудуванні. І.Н. Скриль та С.І. Скриль узагальнили ці фактори впливу у схемі «Роза впливу інсоляції на містобудівні процеси» формуючи міську забудову і проектуючи окремі будинки і архітектурні ансамблі, потрібно обов'язково враховувати місцеві особливості світлового й інсоляційного клімату (Рис. 5) [227, с. 90-91].

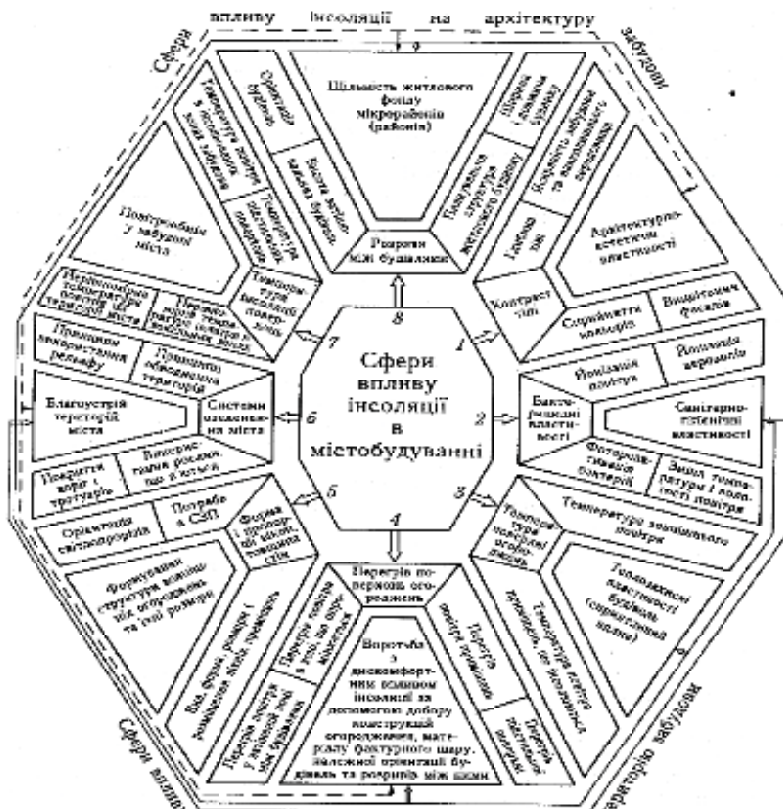


Рис. 5. Роза впливу інсоляції на містобудівні процеси.

Серед широко розповсюджених засобів світлового захисту в житлових типових будинках, що проектуються на Україні, автори називають, безумовно, балкони, лоджії і літні приміщення. Деякі автори звертають увагу на затінюючі властивості балконів і лоджій, що в багатьох випадках позбавляють інсоляції житлові приміщення.

У зв'язку з цими аспектами автори пропонують деякі нетрадиційні варіанти розміщення і форми балконів. За їх рекомендаціями проінсольованих кімнатах балкони слід розміщувати і надавати їм такої форми, щоб сонячні промені безперешкодно потрапляли до приміщення в секторі вікна, де балкона немає. Форму балкона, розміри й розміщення його вирішують незалежно від орієнтації вікна, а період інсоляції має відповідати нормативному [227, с. 170-172].

В Україні висуваються вимоги до експлуатації квартири влітку та взимку з точки зору комфортності світлового середовища. Наприклад, для освітлення приміщень, які використовуються для денного перебування, максимальною мірою використовують природне світле; надмірно не збільшують скляні поверхні в приміщеннях, оскільки їх теплозахисна здібність нижче, ніж у стін; при використанні пасивного сонячного тепла враховують, що в опалювальний період випромінювання розповсюджується у напрямку з південного сходу на південний захід та здатне обігрівати тільки ті приміщення, які «попадають» в поверхню, яка опромінюється; якщо сонячні промені взимку без перешкод проходять у потрібних напрямках (південь та суміжні частини світу), можна розраховувати на те, що їх енергія дозволить знизити витрати на опалення. Використання пасивного сонячного випромінювання – це уведення до будинку сонячної енергії, яка взимку поступає у напрямку з півдня, з метою знизити потреби в опалювальній енергії. Сонячне тепло, яке поступає через скляну поверхню південної орієнтації, коли світить сонце, дає певні переваги, але через велику скляну поверхню втрачається багато тепла [229].

Головною тенденцією композиційних рішень сучасних архітектурних об'єктів, зведених в обласних містах України (Київ, Полтава, Вінниця, Дніпро, Харків) є суцільне скління фасадів. При цьому склінні поверхні виконують не тільки світло-пропускну роль і служать віконними прорізами, але й функціонують як облицювальний матеріал, навішений на фасад. Враховуючи різноманітність колірної гами скла, можна говорити про світло-кольоровий сенс формоутворення архітектури. Глянсове або дзеркальне скло фасадних поверхонь створюють враження легкості будівель, змінюють сталі уявлення про тектоніку в архітектурі. Скляні поверхні виконують «роботу» відбивачів природного освітлення в міському середовищі, і, таким чином, кардинально змінюють архітектурне світлове середовище [230].

Візуальна відкритість архітектури хай-тек завдяки скляній прозорості відображає концепцію побудови демократичного суспільства. Використовуючи відкриті загальнодоступні простори (прозорі в прямому і переносному сенсі)

архітектори, таким чином, демократизують середовище шляхом посилення його публічності, створюють архітектуру не для певних груп, а для всіх. Відомо, що демократичність є семантичним принципом формоутворення пізнього модерністського напрямку технічного стилю [231, с. 10].

В останні п'ятнадцять років в обласних містах України ведеться інтенсивне будівництво багатоповерхових житлових будинків та торговельних комплексів, які відрізняються різними композиційними підходами до формування комплексу світлових засобів. По-перше це проявляється у пластиці поверхонь фасадів та їх кольорових, фактурних рішеннях завдяки конструкційно-обробним матеріалам.

Окремо слід відзначити роль великомасштабних торговельно-розважальних комплексів («КАРАВАН», «РОСТ», «МЕТРО», «КЛАСС», «ДАФІ», «BILLA», «БУДМЕН», «ЕПЦЕНТР»), які стають у вечірній час активними світловими акцентами міста. Їх світло-кольоровий дизайн створює піднесений настрій городян і формує, таким чином, громадський культурно-дозвільний простір. У формуванні світлового образу громадських зон міста використовуються різноманітні композиційні і технологічні прийоми, які можна вважати розповсюдженими в європейських країнах. Останнім часом застосовуються наступні джерела світла: світлодіодні світильники, світлодіодні пристрої світлової реклами та святкової ілюмінації, світлодіодні прожекторні пристрої, світлодіодні модулі, світлодіодні проєктори. Вагомий вплив на дизайн світло-кольорового середовища сприяють такі параметри джерел світла: номінальна напруга, номінальний світловий потік, колірна температура, загальний індекс передачі кольору, габаритні розміри, стійкість до механічних впливів.

Зовнішнє LED-освітлення застосовують в разі потреби яскравих візуальних ефектів, воно має дуже широкі композиційні можливості. Існує декілька методів розстановки світло діодів прийнятних для світлової композиції на площині, у просторі і при формуванні об'ємних й просторових світлових композицій. Зараз підвищується роль LED-освітлення у так званому сценарному програмуванні предметно-просторового середовища, коли відбувається керування джерелами світла у відповідності з задумом. Динамічне освітлення може втілюватися в



динаміці імітації руху, динаміці зміни кольору і динаміці імітації природного світла. Особливу роль відіграють LED-технології в оформленні інтер'єрів, театральних шоу, концертів. Окремо слід відзначити їх застосування у вітринах магазинів та у формуванні медіа-фасадів. Однак зловживання світловими ефектами може спричинити не тільки руйнацію цілісного художнього образу, а й втілити дисбаланс у самопочуття користувача. Цими властивостями визначається найважливіший принцип сценарного програмування світлових ефектів [228]. При нинішній складній екологічній ситуації LED-світло є найбільш екологічним способом освітлення завдяки відсутності структури світлових діодів шкідливих речовин. Таке освітлення здатне в два рази зменшити загальні витрати енергії на освітлення, що є досить ефективним рішенням сучасних проблем енергозбереження [232, с. 10-16].

## **7.2 Развитие архитектуры западной, центральной и восточной Европы в V – X вв.**

Развитие архитектуры данного раннесредневекового дороманского-периода рассмотрено в соответствии с историческими событиями в Европе в V – X вв. Это важный европейский исторический период, когда формировались европейские этносы, границы государств и проявилась роль миграционных процессов в формировании архитектуры Европы начала средневековья.

Начало средневековья в Западной Европе – падение Римской империи в 476 г., когда Рим был взят германским племенем вандалов под предводительством Одоакра. В Восточной Европе начало средневековья относят к 375 г., когда гуннский союз племен разгромил германские военные силы под предводительством Гермонариха в Степном Причерноморье [233, с. 51, 294].

Одоакр, захватив власть, объявил себя королем Италии и правил в Риме 17 лет, до 493 г. Гунны же пересекли Степь Восточной Европы и направились в ее центр, на Среднедунайскую равнину. Своим стремительным передвижением на запад дали толчок к т.н. Великому переселению народов [233, с. 62, 295; 234, с. 350, 1147]. На территории Европы происходили сложные миграционные процессы, положившие начало формированию европейских этносов и их государственных территорий [233, с. 23-46; 235, с. 10-28]. К этому времени в Западной и Центральной Европе проживали преимущественно многочисленные германские племена, а средней части Восточной Европы – преимущественно слаянские. Глава германского племенного союза франков Хлодвиг (466-511, король с 481 г. из рода Меровингов [234, с. 1446]), стал завоевывать большие территории бывшей Римской империи и образовал к концу V в. государство Меровингов. В него входили: – германские земли (Австразия (восточная часть государства Меровингов, низовья Рейна [234, с. 14, 277]) и Нейстрия (западная часть государства Меровингов [234, с. 872])); – современные французские земли – Аквитания (историческая область на юго-западе современной Франции [234, с. 31]) и Бургундия (историческая провинция в бассейне Сены [234, с. 178]); –

современные территории Бельгии, Голландии, Люксембурга. Пришедшие к власти Меровинги селились в городах, прежнее население и площади которых резко сокращались. Время господства Меровингов отмечено буйной праздной городской жизнью франков, упадком экономики и культуры в целом. Каменное строительство велось лишь по инициативе епископов, а то, что велось по инициативе королей (это в основном городские укрепления), отмечено очень низким уровнем строительных работ. Бесперывные распри в среде меровингской элиты разоряли страну в VI – VII вв. и привели к смене династии. Новая династия Каролингов утвердилась с 751 г. Ее время – 751 – 843. Основоположник – Пипин Короткий. Название династии – от имени его сына Карла, впоследствии прозванного Великим (742 – 814, король – с 768 г., император – с 800 г. [234, с. 548, 786]) [236, с. 39-43; 233, с. 70-95].

Расцвет Франкского государства Каролингов приходится на время правления Карла. Ведущее место в экономико-политико-культурной жизни государства заняла Австразия, а, благодаря завоевательной политике Карла (земли к востоку от Рейна и к северу от Дуная) и усиленной христианизации присоединенных земель, в VIII в. особенное развитие получил германский север. Но городская жизнь замерла. Стали активно развиваться земли вне городов, где происходило закрепощение сельского населения и быстрое образование феодальных владений. В это время в Западной и Центральной Европе интенсивно формировались только загородные поместья, усадьбы, деревни [236, с. 45, 278]. За кончиной Карла Великого последовал фактический распад империи, поводом для чего было его завещание о разделе его владений между тремя сыновьями, а причиной – непрочность империи, созданной исключительно благодаря военным захватам [233, с. 96]. Наследники Карла правили в Северной Италии до 905 г., в Германии – до 911 г., во Франции – до 987 г. [234, с. 550]. В Германии Каролинги с 912 г. уступили место следующей – Саксонской – династии, второй король которой Оттон I в 936 г. объявил себя императором, а земли Германии, Чехии, Австрии и Северной Италии – «Священной Римской Империей» [234, с. 948, 1387]. Но это – уже другая тема.

Ранний период раннего средневековья Европы – V – VII вв. – период бурного образования и распада этно-территориальных формирований [237, с. 14; 238, с. 25, 258, 263-271]. С VIII по X вв. в Европе – время консолидации вновь сложившихся племен в племенные союзы, предшественники государственного образования: дулебов, волынян, древлян, дреговичей, населения Братского Побужья и Верхнего Понеманья [239, с. 92, 325; 240, с. 295, 528].

Сложные миграционные процессы, происходившие в Европе до конца VII в., способствовали культурным взаимовлияниям среди участвовавших в них племенных объединений, что особенно отразилось в архитектуре.

Миграционные процессы в Центральной и Восточной Европе с пер. пол. I тыс. н.э. таковы: на территорию Поднепровья переселились племена Припятского Полесья, население Среднего Поднепровья – в Подесенье и другие восточные районы и в верховья Южного Буга. Влияние германских племен обнаружено в Припятском Полесье, в верховьях Сейма, Псла, Северского Донца. Здесь поселения, на первый взгляд, – хаотической застройки, но имели группировку жилищ [238, с. 33, 278]. Показательно в этом отношении хорошо обследованное поселение Рашков-2 на Среднем Днестре, относящееся к V – VII вв. [241, с. 42]. Здесь система застройки – отражение побочных родственных горизонтальных связей (братья, дядья, племянники). В такой системе каждое жилище размещено относительно других во времени и пространстве (т.е. повернуто к первоначальному под определенным углом) и имеет социальное значение только в данной системе, а, взятое отдельно, теряет социальный смысл. Линейная система застройки фиксирует конечный клан, т.е. временные и территориальные границы данной большой семьи [238, с. 145, 378, 379, 383].

В таких поселениях на франкских землях времени Каролингов нигде нет площади общественного назначения (для собраний и праздников). Дома глухими стенами обращены в сторону господствующих ветров. Они – прямоугольного плана, площадью в среднем 5×25 м, разделены двумя параллельными рядами столбов на три поперечные части.

Конструкции – каркас с глиняной обмазкой. Это – «трехнефный халле» на всех территориях, где имелись схожие строительные материалы, производительные силы и одинаковые климатические условия. Трехнефное халле особенно было распространено там, где наравне с земледелием процветало скотоводство. Изначально халле предназначалось для содержания скота, рядом с которым выделялось и место для хозяев. Истоки такого типа жилища – от галльских сообществ раннего железа, 900-400-е гг. до н.э. У них вход – по широкой стороне, очаг – в центре, крыша – двухскатная, полы – земляные. С распадом родовых хозяйств помещения для скота стали выводить в отдельные постройки. Выражением богатства хозяев стали размеры жилищ, прежде всего – трехнефного халле. Постройки круглого, подковообразного планов и землянки – только специализированные, без очагов [236, с. 46, 279].

У скандинавских германцев – также тип трехнефного халле, но с той особенностью, что стены – земляная насыпь, окружавшая землянку размерами в среднем 5x17 м. Но в горных местностях строились дома на каменных фундаментах с вертикальными стенами. Везде трехнефное халле мало отличалось от аналогичных построек Нижней Германии и Шлезвига до конца I тыс. н.э. В X – XI вв. в Шлезвиге на скандинавском поселении Хайтабу найдены халле различных конструкций (фахверковые, мачтовые и др.) прямоугольных планов, где скот содержался под общей с жилыми помещениями крышей. Кроме трехнефных халле, строились дома «антового типа» и постройки с сенями, но везде, где совместно с жильем имелись помещения для скота, вход устраивался только по продольной стороне [236, с. 48]. В степной зоне Северного Причерноморья такой халле существовал до последней четверти XX в. (в зоне германцев-колонистов, приглашенных императрицей Екатериной II в Россию во второй половине XVIII в. для освоения этих земель, вошедших в указанное время в состав России). Например, в современном поселке городского типа – Сарате, Одесской области (по итогам обследования автором – П. Н.) Рубленные дома строились в лесистых отрогах гор юго-западной Германии как хутора [236, с. 48].

В Восточной Европе в VIII-X вв. жилища повсеместно прямоугольных планов, с двухскатными крышами, покрытыми жердями, поверх которых насыпался слой глины или соломы, полы – земляные, утрамбованные. Различия – в заглубленности стен, их конструкциях и отопительных устройствах. Хозяйственные постройки строились около жилищ [239, с. 14, 268, 269, 273, 274; 237, с. 139]. В южном районе – наземные и полуземлянки срубной конструкции (от Западной Сибири эпохи бронзы) или столбчато-каркасные, с купольными каменными или глиняными печами, устраиваемыми в углу, противоположном входу. Вне жилищ – большое количество хозяйственных ям и хозяйственных построек. В западном районе были распространены полуземлянки и наземные дома аналогичной конструкции с очагами в центре. Вне жилищ – различного назначения хозяйственного устройства. В северном районе – наземные срубы с печами-каменками в углу. Все хозяйственные постройки и ямы – вне жилищ [242, с. 137, 370; 239, с. 90; 237, с. 179; 238, с. 91, 324].

Основной строительный материал германцев в сельской местности – дерево. Их поселения – без оборонительных сооружений. По Тациту (римскому историку, 58-117 гг.), германцы питали неприязнь ко всякого рода ограничениям, считая их «могилами свободы», что и определило у них отсутствие опыта по возведению укреплений [236, с. 50]. У славян Восточной Европы – наоборот: за несколько тысячелетий (с эпохи среднего энеолита) в возведении оборонных сооружений сложился очень богатый опыт. К VIII в. славяне строили свои укрепления в основном из дерева, из камня – только для горных крепостей (как Тустань). Сложились два типа защитных сооружений: городища для постоянного проживания и городища-убежища. Последние использовались лишь в периоды опасности. Их планировка – по рельефу местности, а строения – только вдоль внутренних стен укреплений. Сами строения приспособлялись под временное жилье, а середина традиционно не застраивалась (от эпохи бронзы), куда под укрытие сгонялся скот. Для городищ постоянного проживания системами обороны служили деревянные стены на валах, укрепленных срубами – опорами, перед валами с напольной стороны строились рвы – земляные,

эскарпы (земляные с крутыми откосами, деревянные откосы. На городищах-убежищах системы обороны – аналогичны [237, с. 179, 412]. Вдоль границы со Степью, где появились печенеги с 915 г. [235, с. 214] в течение X в. были выстроены большие города-крепости обороны правого и левого берегов Днепра при подходах к Киеву: – Переяславль, 907 г.; – Белгород, 991 г. На пути печенежских орд сооружена линия обороны вдоль берегов рек Стучны, Сулы, Трубежа, Остера и Десны из системы крепостей [242, с. 168].

Германские поселения не имели ограждений, а в случае опасности население укрывалось в «бургах» - городищах на естественных или насыпных холмах, защищенных рвами и палисадами (от франц. слова – частокол, застройка [234, с. 956]), с деревянной башней у входа, без постоянной застройки. Практику строительства таких укреплений германцы переняли на востоке у славян, на западе – у кельтов и римлян [236, с. 49]. Помимо укрытий, бурги основывались и как опорные пункты для экспансии на восток. Франки переняли у римлян и возведение прямоугольного плана жилых башен, окруженных рвами и палисадами, что стало прототипом средневекового германского замка. Укрепленные резиденции правителей областей – «пфальцы». В начале правления Карла у него и его двора не было постоянного местонахождения, и король вместе со двором кочевал от пфальца к пфальцу, оставаясь в каждом, пока хватало продовольственных запасов. Еще во времена Пипина его излюбленным поместьем был Ахен (Ахен). Постепенно уже при Карле поместье Ахен превращалось в главную его резиденцию, становясь городом, административным и культурным центром империи [236, с. 49, 282].

В каждом пфальце обязательно строилась дворцовая капелла, сначала в деревянных конструкциях, потом – перестройка в камне. Такая капелла со временем выростала в церковь или собор, как, например, в Ахене, 790-814 (изначально в камне, зодчий Отто из Меца), при освящении в 805 г. получившая ранг собора [236, с. 51, 284]. Прототипом ахенской капеллы считается церковь Сан-Витале в Равенне [243, с. 40-42]. Кроме Ахена, выстроены ансамбли монастырей: – Сант Гален, IX в.; – Сен Рикье с монастырской церковью, около

800 г.; – монастырь Корвей с монастырской церковью, 883-885 г.; – монастырь Гранлье с монастырской церковью Сан Филибер, 836-889 г.; – монастырь Сен Женеру с церковью 950 г. С VIII в. стал преобладать тип раннехристианского храма над христианской базиликой восточного типа [236, с. 51-65].

В Восточной Европе в VIII – X вв. сооружались только языческие святилища вплоть до 988 г., когда христианство византийского толка было принято на Руси как государственная религия. Первая церковь – Десятинная в Киеве, 989-996 гг., крестово-купольная (от Византии) [240, с. 353, 586]. До принятия христианства языческие святилища сооружались трех типов: - 1) для ежедневных молений; - 2) межплеменные для малых или первичных объединений племен; - 3) для союзов племен [239, с. 261-263; 237, с. 181].

О некрополях Западной и Центральной Европы на франкских территориях особых сведений не имеется. В Восточной Европе захоронения осуществлялись по курганному типу с обрядом труположения, иногда – кремации [239, с. 91].

Краткий обзор развития архитектуры на территориях Западной, Центральной и Восточной Европы показывает схожесть типов поселений и оборонных сооружений, что обусловилось постоянными миграционными процессами на данных территориях. Что касается жилищ – они различны функционально (в Западной и Центральной Европе преимущественно – трехнефный халле, в Восточной Европе – только для пребывания людей), но их объединяет использование единой стоечно-балочной системы и схожесть строительных материалов – преимущественно дерева. Существенное различие – в культовой архитектуре: на западно- и центральноевропейских территориях, где христианство получило развитие, особенно с конца IV в., до конца X в. строилось большое количество монастырских комплексов с церквами и соборами базиликальных планов, а славянские территории Восточной Европы обрели христианство только в 988 г., но при этом получили от Византии готовый тип храма – крестово-купольный. Именно исторические процессы обусловили развитие и своеобразие архитектуры раннего средневековья, V – X вв., на указанных территориях Европы.



**SECTION 8. INNOVATIVE TECHNOLOGIES****8.1 Control of propeller for an ultra-light twin-seat aircraft manufacturing**

**Abstract.** A block diagram of the implementation of the propeller formation with the combination of direct and inverse tasks using coordinate systems of CNC machining centers by refitting them with control tools has been developed. The flowchart shows the implementation of the main stages of the propeller design, manufacture and control, as well as the possibility of restoring its digital mock-up (DMU) by reengineering using 3D scanning of a real physically existing propeller. The results of geometry control of the manufactured propeller according to its digital mock-up showed insignificant deviations within the tolerance on the theoretical propeller profile, which allowed us to conclude that propeller manufacturing technology meets the required standards and that it can be cleared for operation.

**Key words:** propeller, digital mock-up, control, reengineering, direct and inverse shaping problems.

**1 Introduction**

Nowadays, propellers for ultra-light aircraft are most commonly made of wood or composite materials, and their efficiency affects the thrust and climb rate of an aircraft, thus the task of their proper design, manufacture and control is virtually always relevant.

Under the operation of control, the initial DMU compliance or non-compliance of the manufactured part surfaces is established. In this case, the application of the traditional method based on templates for solving control problems does not allow us to determine the numerical values of deviations from the reference points of the studied object, which is further considered and presented in the article.

Obtaining a surface portrait of a manufactured part in digitized form is possible by the method of 3D-scanning, called reengineering, which allows implementation of the operation of control at almost all stages of product life cycle [244, 245].

3D-scanning is the construction of the geometry of a manufactured part using various three-dimensional scanning technologies, for example, stationary coordinate measuring machines or portable coordinate measuring machines such as measuring arms and structured white light scanners. The measurement data of scanned surfaces, usually presented in the form of point clouds, do not contain topological information and therefore are converted into mesh structures with a triangular cell shape (STL), and subsequent modeling is performed on their basis in a more convenient format, such as a combination of non-uniform rational B-spline (NURBS) surfaces or solid model.

## **2 Control theory for propeller**

At present, there are aviation products of former Soviet Union that used to be manufactured on template technology, so reengineering greatly simplifies reissuance of lost documentation and transferring such products to information technology using CNC machines and CAD / CAM systems.

3D scanning is one of the important stages of reengineering, since the processed scanned surfaces allow obtaining a portrait of the object under investigation with high accuracy, which enables creation of a 3D model in CAD programs (SolidWorks, CATIA, Geomagic Design and others) for control operation by comparison with DMU of the studied object or for direct renewal of the DMU.

In the control operation, the main factor is to determine the shape deviation of the real profile from the reference along the normal to the reference profile within the normalized area Fig.1a [246].

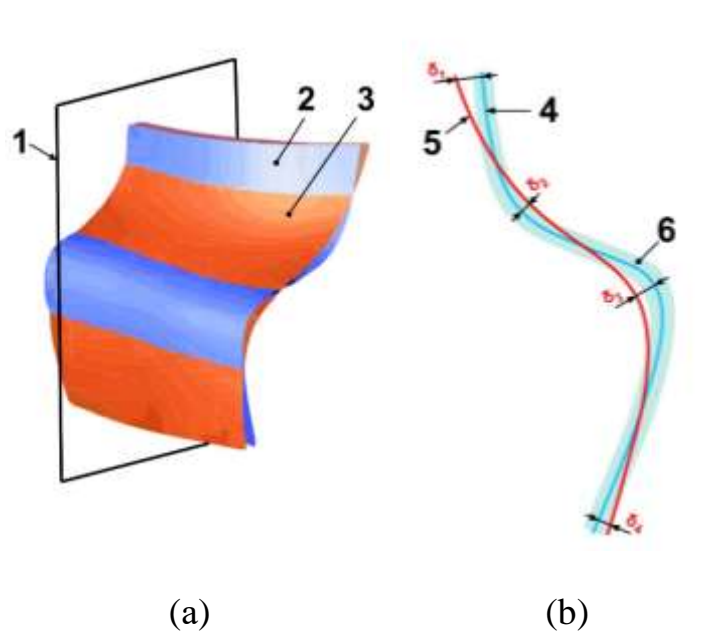


Figure. 1. The shape deviation of the real profile from the reference along the normal to the reference profile within the normalized area (a) and deviations of values  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  and  $\delta_4$  and so on (b), where are control section plane 1; portrait 2; part surface reference 3; cutoff of a real surface by a plane 4; cutoff of a reference surface by a plane 5; tolerance area of reference surface 6

The purpose of control operation is to establish the fact that these deviations are within the specified tolerance, which, for example, values  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  and  $\delta_4$  do not correspond to Fig.1b. Performing such procedures at the workplace causes certain difficulties, especially with a geometrically-complex part such as a propeller, when using the available in the production unit items, it is necessary to build normals to the surface of the DMU with measuring the distance to points of the real surface.

Currently, the shaping of the investigated object in production is solved by combining direct and inverse problems using coordinate systems of CNC machining centers by equipping them with control tools, where the direct problem is solved at the design and manufacturing stages, and reverse at the control stages [247].

Fig.2 shows a block diagram for determining the DMU of a propeller with combined forward and reverse problems.

Before propeller manufacturing it is necessary to perform design calculations in order to obtain its geometry –  $DMU_{prop}$ . For that purpose, based on the technical

specifications, aerodynamic characteristics of the profiles are determined, calculation and determination of the propeller geometry in the XFOIL software package are performed Fig.2a [248 – 252]. Then the formation of the DMU of the workpiece ( $DMU_{prop}$ ) based on  $DMU_{prop}$  geometry of the propeller occurs.

The next step in solving the direct shaping problem is to obtain the product according to the available DMU. To accomplish this task, using blade processing, for example, equipment, tooling and a method of fastening the material in supply condition are selected, and models for the process of obtaining the workpiece ( $MP_{prop}$ ) based on which it is made are developed.

Obtaining a propeller from a workpiece can be implemented using a control program with CNC equipment ( $MP_{prop}$ ).

Since  $AS_{prop}$  is described by NURBS splines, use of this class of curves in forming the tool path provides a compact control program with high precision machining [253].

The inverse problem of shaping is solved in reengineering operations when it is necessary to restore the analytical data of the  $DMU_{prop}$  propeller according to the measurement results from the finished propeller product, where portraits of propeller geometry ( $P_{prop}$ ) are built, characteristic sections of the blade profiles are determined, profile coordinates are defined, etc. with the construction of a 3D model of the propeller for restoring  $DMU_{prop}$  information and adjusting the models of the propeller manufacturing process with further launching into production.

The inverse problem of shaping is also solved in operations of controlling the finished product of propeller by comparing its portrait  $P_{prop}$  obtained by 3D scanning with the digital mock-up of propeller  $DMU_{prop}$ .

According to results of the control, taking into account the verification calculation, a decision is made on the quality of the manufactured part and, in case of a positive result, the shaping task is considered as completed, otherwise  $DMU_{prop}$  и  $MP_{prop}$  can be adjusted.

This article presents the results of geometry control of a manufactured wooden propeller of an ultralight two-seat aircraft [247, 252].

As a rule, such propellers are not repaired in the presence of significant damage during operation, but must be disposed of with a new one installed on the aircraft, therefore, the presence of a well-developed technology for their manufacture using modern information technology with CNC and CAD/CAM systems allows organization of the production of propellers in the shortest possible time and with minimal labor.

3D-scanning was carried out with Artec EVA laser scanner with point cloud reproduction – portrait Artec Studio 12 software package.

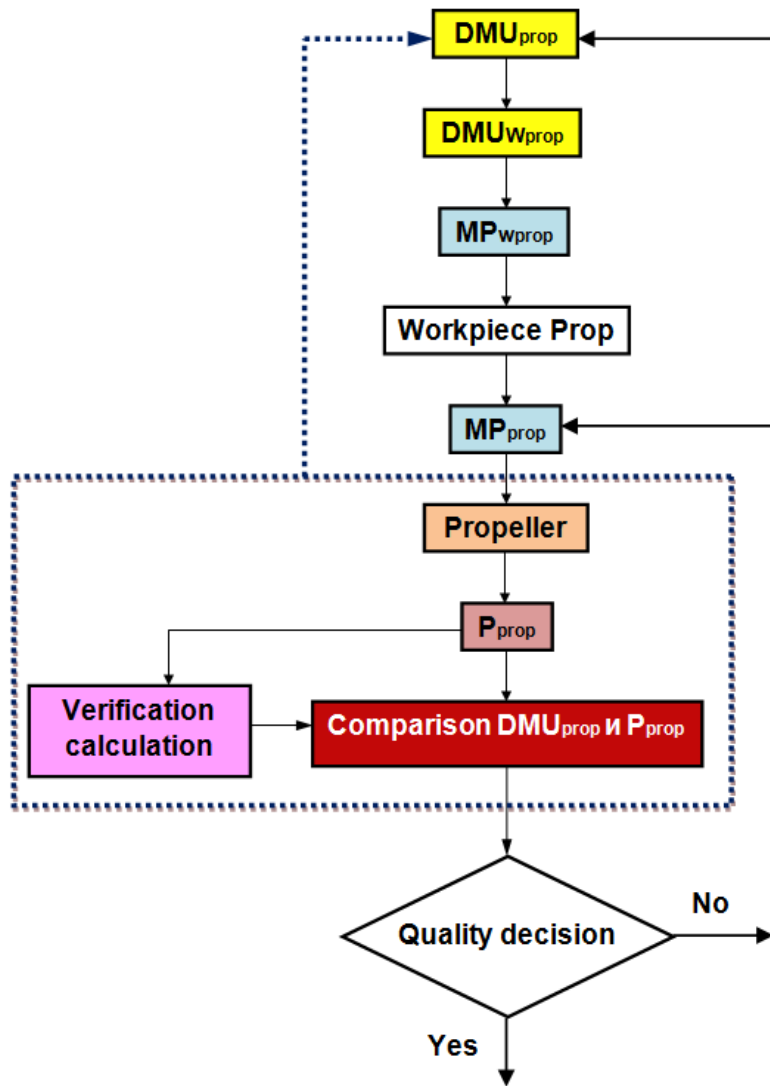


Figure 2. Scheme for solving direct and inverse problems of propeller shaping:

—————> – direct problem;      .....> – reverse problem.

### 3 Key results

The Fig.3 below in shows the following: scanned surfaces of explosives, pre-assembled to form a file «\*.STL» in Fig.3a; creating a single propeller surface in SOLIDWORKS in Fig.3b and determination of control sections of profiles; geometry deviations of the manufactured propeller (portrait) obtained on the basis of 3D scanning from the control sections of the propeller profiles  $DMU_{prop}$  in Fig.3c,d.

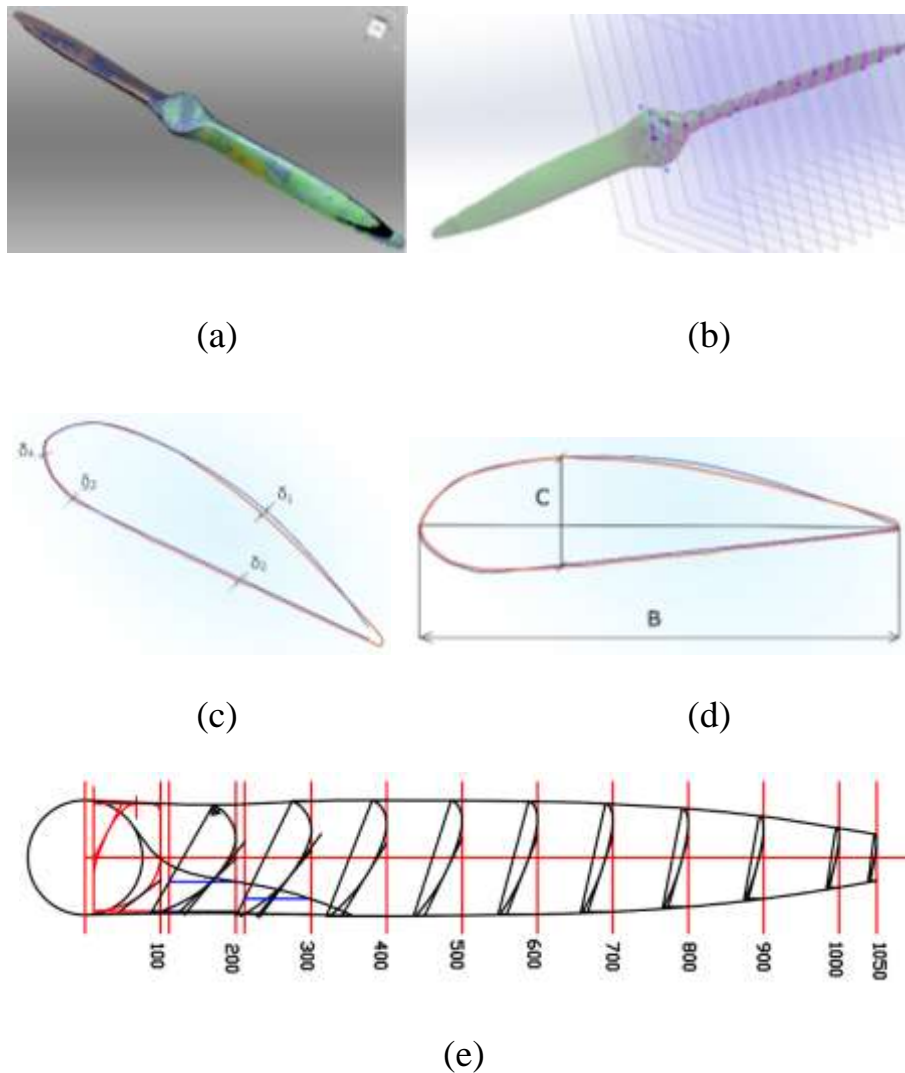


Figure 3. Reengineering in control operation of the propeller: a) scanned surfaces –portraits; b) creating a single portrait with drawing control sections of profiles; c) deviations in the control section of the profile; d) controlled parameters C and B in section profiles; e) control sections of profiles  $DMU_{prop}$

Measuring results are summarized in table 1, where it can be seen geometry deviations<sup>9</sup> of relative maximum thicknesses of sections C to corresponding chords of sections B of manufactured propeller from the theory of a similar C/B ratio in the main sections of the profiles, starting with a radius of a blade section of 200 mm with a step 100 mm, including the extreme size of 1050 mm showed in Fig.3.

Table 1.

## Geometric data of propeller

Blade cross-section radius, mm	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1050
Relative thickness of the section C/B by $AS_{prop}$	0.27163	0.1945	0.15185	0.12682	0.11024	0.10056	0.09497	0.09	0.08494	0.08247
Relative thickness of the section C/B by product	0.272	0.182	0.1534	0.1241	0.1156	0.1	0.0955	0.0982	0.1012	0.1129
Geometry deviations of manufactured propeller from $AS_{prop}$ , percentage	0.136	-6.43	1.02	-2.14	4.86	-0.56	0.56	9.11	19.14	36.9

At present, modern equipment used in reengineering solves the reconstruction of the geometry of the object under study with an accuracy of up to 0.01 mm, and the presence of an DMU in CAD programs eliminates the need for material costs for additional manufacturing of template equipment.

Analyzing the data of table 1, it can be concluded that the propeller portrait and its DMU have slight deviations with an accuracy of 0.01 mm, which can be explained as follows:

- inaccuracies in the manufacturing technology of the propeller itself;

<sup>9</sup> As a rule, to determine these deviations of the surface geometry of the part, a model is formed as a difference between coordinates of the standard and the portrait at each point of the standard model. Comparison of the model with tolerance values specified by the designer allows you to make a decision on the quality of macrogeometric parameters. Similarly, a comparison is made of all other characteristics of the part described by the AS to make a decision on its quality.

- a large number of scanned portraits of the propeller surface were used in order to increase the overall accuracy, which entailed an increase in the complexity and local loss of geometry during its processing.

The analysis of the obtained portrait also showed the sinusoidal nature of the trailing edge of the propeller in the frontal plane, which may be the result of errors either in the design calculations of its characteristics initially and / or in non-compliance of manufacturing technology.

As a result, an advisory conclusion can be drawn in the need for additional design calculations in order to clarify the theory of propeller geometry and the technology of its manufacturing in accordance with the proposed block diagram Fig.2.

The presented control technology of the manufactured propeller of an ultralight two-seat aircraft clearly demonstrates the repeated use and importance of a correctly designed DMU, since the information originally laid down in the DMU part is the basis for manufacturing and control technology at all stages of production using solution of three-dimensional problems with hypersingular integrals too [254].

The results of control at all stages of aircraft parts manufacturing to improve the assessment and make decisions on further admission to production or operation are possible using the color palette [255].

#### **4 Conclusions**

Based on the foregoing, we can conclude the following:

1. A block diagram of the direct and inverse problems combination of propeller shaping is proposed and developed, which integrally takes into account the features of design, manufacture and control in production.

2. It is shown that reengineering is involved in the control operations at a modern level, which allows prototyping the surface of the manufactured propeller product, creating its exact geometry portrait.

3. The results of the control of the manufactured propeller of an ultralight two-seater aircraft made it possible to establish the exact numerical values of geometry deviations of profiles sections with an accuracy of 0.01 mm.



4. The analysis of results of the control of the propeller product made it possible to formulate an integrated approach to the technology of propeller manufacturing from correcting the geometry of its DMU to the manufacturing and control technology.

## 8.2 Innovative and ecological finishing materials in children's institutions

Issue of ecological safety of man in epy internal space of building, became a critical problem sensibly in 1983, when the World Health Organization set forth conception "sick building syndrome ", that arises up at violation of the internal ambience and use of harmful constructional materials.

Considerable period of his time the modern man spends in the enclosed spaces, however the most sensible contingent namely children and aged people spend up to 90% of their time wherein. Therefore health and comfort existence of man directly depend on that, so far as the internal space is ecologically safe. Actually the ecological norms on the admissible content of harmful admixtures in the air environment of accommodations practically are not available in Ukraine, and magneto-electric noise is not rated.

Investigations by scientists showed that finishing materials in human environment can evolve various chemicals in considerable concentrations, such as: ammonia, acrylonitril, anhydride phosphoric, butyl and vinyl acetate, hydrocyanic acid, hexamethylenediamine, complex of organic phthalates, aromatic hydrocarbons, acrylates, methyl, butyl and isopropyl alcohols, formaldehyde, phenols and variety of other admixtures [256, 257]. Also it is known that the indoor air simultaneously can contain more than 100 volatile chemicals and their species, including those that belong to the I-st and II-nd classes of hazard. New finishing materials that contain chemical admixtures can be a source of contamination of the internal space with toxic substances.

Quality while in premises depends on: 1) microclimate of premise - optimal combination of temperature, humidity, rate of air movement, insolation, luminosity, sound-level; 2) quality and quantitative composition of air in the premise, that is determined by its radiation, chemical, biological contamination, electromagnetic and ionizing radiation.

This publication is aimed to determine the innovative and ecological finishing materials that can be used in the children's preschool and educational establishments. It is known that children reside a lot of time in the children's establishments. And the environment where the child is staying must meet the modern requirements of safety and ecological compatibility. Wrong choice of finishing materials can produce detrimental effect on the children health.

Considerable amount of various finishing materials is presented at the Ukrainian market, but they cannot be equally suitable for childcare centres. However in practice it is possible to trace the wide use of materials that are at odds with criteria of ecological compatibility. So, for example, the most used materials for finishing of common area in the children's preschool establishments in Ukraine are as follows: linoleum for floor covering, foam polystyrene plates for ceiling, vinyl wallpapers and various cabinet-type furnitures of wood chipboards.

However, the basic criterion of choice of a material must be its safety, its ecological compatibility and congruence with performance characteristics of premises subject to their types. Failure to observe these requirements can be resulted in undesirable risk factors. As the unfavorable ecological factors of the indoor environment in children's establishments can entail conditions for development of specific illnesses and be resulted in a number of such illnesses.

Actually quality of raw material for production of finishing materials and basic materials is determined by normative documents: DBN (Ukrainian national construction regulation), DSTU (Ukrainian national standardization system), SNiP (construction norms and specifications), TU (technical specifications). They are estimated by technological and technical descriptions. Out-migration levels of formaldehyde are the main factor of danger of materials for children health: as the whole for all types of products – up to 16-25% by the several groups of commodities (plywood, fibreboards, chipboards).

Registered formaline content in blood of children is 2,5 exceeds the comparison level ( $p < 0,05$ ). Also the immune-response inflammation of children being under long exposure is evident [256, 257]. As to prevent the air pollution with harmful admixtures it is topically imperative to develop the industry of safety of the finishing materials intended specially for children's establishments.

The master regulatory documents that regulate the use of finishing materials for kindergardens in Ukraine are the State Building Norms "Preschool Educational Institutions" B.2.2-4: 2018 and SanPin No. 563/28693 (Sanitary Regulations for Preschool Educational Institutions) approved on March 24, 2016. These documents indicate the main operational requirements and types of materials for various premises of these types of buildings. It is also pointed out that design of the preschool institution interiors shall be effected with the certified, high-quality and safe for children's health materials only [261]. In addition, the materials must meet fire safety requirements and several special requirements, depending on the functional purpose of the premise.

Within the terms of this publication particular attention should be drawn to the innovative finishing materials. Such materials contain modified admixtures. They are not only decorative coatings but also match criteria of ecological compatibility and can be used in children's preschool establishments and education institutions.

Lately the special attention is given to materials, that contain nanoparts of silver and display the bactericidal activity, expressed antifungal and antiseptic action, and also serve as high efficiency disinfecting means in relation to pathogenic microorganisms which cause acute infections. Thus particles of silver by the size of 9-15 nm are the most effective for elimination of the disease-inducing microorganisms. It is important that ions of silver are harmless for human cells, as contrasted with microorganisms [259].

The Italian decorative plaster of series "San Marco Nano+" is a very such material that contains nanoparticles of silver which along with that is resistant to aggressive atmospheric influences, not sun-bleached and mold resistant [260].

The bioactive ceramics (the innovative ceramic self-cleaning material Bios) also is one of such materials, it was worked out by specialists of the Italian company

Casalgrande Padana. This material is able to diminish the amount of four basic bacterial stamms at 99,9%, that is testified by the Department of Microbiology of University of Modena, Italy [261]. Material of Bios is free from chemicals destructive to human health.

Technology of "hydrocera" that is able to decompose bacteria that cause formation of yellow spots by means of the hybrid photocatalysis technology (combination of photocatalyst and antibacterial metal) deserves attention, Also it is possible to use the antibacterial disinfectant paint with silver ions which purifies and sanitizes air. Its action principle is based on photocatalysis, which is started under impact of light [261] (Fig.1.).

This is the paint StoColorClimasan, that is able to remove effectively odour and polluting substances midair. It is resistant to the wet cleaning (2 class of wet abrasion), it is fireproof (class of km-1) and permeable to vapour.

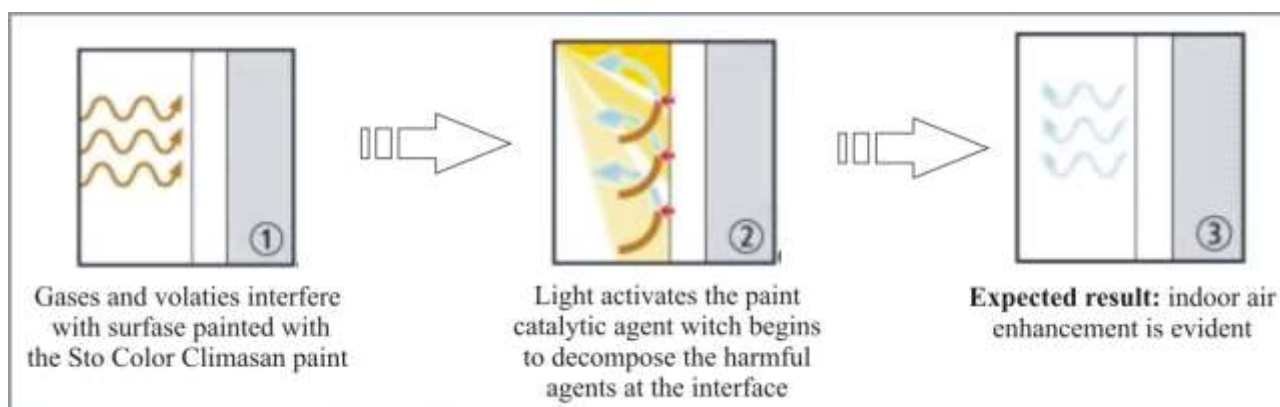


Figure 1. Purification of air on the principle of photocatalysis.

Nanoparticles of silver are used also for the impregnation of fabrics. They permit to produce textile materials with antibacterial properties. It is well-proven that use of such materials gives an opportunity to attain the effective thermoregulations of human body, promote efficiency of oxygen metabolism, support water-and-oil balance, stimulates work of the immune system, metabolic activity and cell renewal [262].

Coconut mosaic that consists of coconut shells which are glued together with resin is the original finishing material. It can be used for coating of walls, floor, furnitures.

Material has the following advantages: durability, longevity, fire-resistance. water resistance, ecological compatibility, antistaticity.

Application of fiberglass wallpapers is also possible, They are based on glass and consist of fibres of quartz sand, soda, lime and dolomite. Such glass fabric does not create the nourishing environment for microorganisms. It stands out in durability, water impermeability, ecological compatibility, fire-resisting property. This coating "breathes", it does not accumulates the static charge, it is resistant for fungi infection and mildew and facilitates maintenance of microclimate in an apartment.

Thus, all materials that are used for the internal finishing of preschool educational establishments and education institutions must be provided with positive conclusion of the state sanitary-epidemiological expertise. Harmful influence of low grade finishing materials on the child's organism can be eliminated only by moving such materials away.

Furthermore as early as the design stage the correct choice of safe materials free of even microdoses of harmful substances is expedient. Such approach will stimulates producers to make the ecological materials, including use of innovative technologies. Strict control after quality of finishing materials used in child's preschool and educational establishments must be compulsory.

Slogan "ecological environment - health of children" is an important tool to create healthy environment in children's preschool establishments and education institutions. Environmental and health regulations must include all constituents of the internal environment, that influence on the biological and psychical human health.

### **8.3 CSTC T-PPR: organizational measures technologies of enhancing energy efficiency of reconstruction buildings historical building of Odessa**

World practice shows, that increase power efficiency is reached mostly at the expense of organizational changes in a guidance system power economy the enterprises or cities. Having introduced system power management it is possible to reach without the big financial losses considerable energy conservation in 3...5 % for 1...2 years. Power management includes a set of the actions aimed at economy power resources: monitoring power consumption, working out power budgets, the analysis existing indicators as bases drawing up new budgets, working out a power policy, mapping out new power savings actions etc. Power efficiency building – property of a building, its structural components and plumbing system to provide during expected life cycle this building household requirements the person and optimum microclimatic conditions for its stay in premises such building at is standard-admissible (optimum) expenses power resources for heating, illumination, fanning, an air conditioning, heating of water taking into account a climatic conditions [263].

In town-planning is shown the tendency to integration, both in sphere of production of goods, and in management sphere; the expanded reproduction demands the further increase level a division of labor, concentration and specialization of building manufacture, an intensification exchange of results is industrial-economic activities. As one of perspective forms integration various complexes act in town-planning structure; in the course formation plans social and economic development of large cities even more often there is a situation when for increase of efficiency used financial, material and a manpower concentration of efforts, but also new progressive forms the organization of building manufacture – corporate, scientific and technical is necessary not simply, power efficiency [264,265].

In work the scheduling method in the organization of building manufacture is used. The planned schedule is such design document, in which dynamically (this is in time) terms and costs performance works are displayed. The planned schedule can be presented in various forms (descriptive, matrix, a sheet-calendar, graphic, etc.) From which the most evident is the graphic form. Last is widely applied in the form of the

linear schedule chart (Gantt chart) and the network schedule (count). In substantial aspect the planned schedule it is system unites technology, the organization and economy building manufacture. Planned schedules are a basis both for the organization building manufacture, and for projects management. Planned schedules it is developed as a part of following projects: the business plan the investment building project; the project organization of building; the project a substantiation of investments; offers for its representation on the contract auctions; the project manufacture works; the project annual organization of works the building organization; technological cards, etc.

The scheduling initial stage is connected with a choice of model the organization works which to the greatest degree satisfies to requirements of manufacture, concrete economic and to specifications. Depending on taking place conditions the organizational-technological scheme which is a basis for working out of model the planned schedule is defined. The Organizational-technological scheme mainly defines topological statement a problem scheduling, and also essential conditions, criteria and restrictions. Methods and ways the organization works are defined by concrete conditions building, character coordination of works in their technological sequence, in time and in space. Creation of the organizational-technological scheme of building object is the difficult creative process demanding high qualification the expert in the field scheduling building.

Line methods the organization works can be calculated in the different ways, therefore they have received names of methods calculation the organization works. We will consider a method of continuous use of resources (M-CUR).

For calculation formation streams on method M-CUR we will consider the line organization of works presented by matrix durations and the schedule internal painting and decorating, at reconstruction buildings of historical building Odessa under standards power efficiency.

On four building objects (buildings of historical building Odessa), defined as private fronts of works, are carried out four kinds of works in rigid technological sequence ( $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ ) on each object: plaster works (index A), priming works (index B), under paint putty works (index C) and works on colorings (index D). The



sequence development private fronts works also is fixed by the following sequence:  
 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ .

Each kind of work is carried out by constant cast which pass to the following object only after the full termination work on previous object. If the given complex works was carried out by a consecutive method its minimum duration would be equal to the sum of durations of all works entering into a given complex:

$$T = 7+9+6+8+2+3+2+3+13+17+11+15+5+8+4+6 = 119 \text{days.}$$

For the line organization works at performance any work on any object performance two obligatory conditions is required:

- 1) the termination the given kind of work a resource on previous object (resource readiness of executors);
- 2) the termination a previous kind of work on the given object (technological readiness private front of work).

In the centre of each element values duration works in days are shown. At formation of schedules works the primary goal consists in calculation terms manufacture works or, otherwise, terms the beginnings and the terminations works.

For the given stream as restriction maintenance of continuous performance of each kind of work (a zero stretching of resource communications), and as criterion function – the greatest possible rapprochement of adjacent kinds of works (private streams) is entered.

For a conclusion of the basic settlement formulas the size carrying the name of the period expansion which defines a difference between the beginning of the subsequent work on private front I and the beginning of previous work on the same front –  $T_{i+1}^v$  is entered into consideration. Clearly that the first work in a technological order is not preceded by any other work and its beginning is accepted by the zero. Thus, having defined the beginning of the first work and the corresponding period of expansion of the second work, it is possible to calculate the beginning of its manufacture on private front I etc. (on an induction) before definition of the beginning last kind of work.

Having calculated the beginning of last work taking into account restriction on continuity of performance works, it is possible to define the general duration all complex of works under the formula (1):

$$T = \sum_{i=1}^{m-1} T_{i+1}^w + \sum_{j=1}^n t_{m,j}, \quad (1)$$

where  $T_{i+1}^w$  – the period of expansion the subsequent work;  $m$  – the general number of kinds works (a current serial index,  $i$ );  $n$  – the general number of fronts works (a current serial index,  $j$ );  $t_{m,j}$  – duration of last kind work on  $j$ -M front.

For definition of values the periods of expansion subsequent works we will take advantage of a condition (2) at which prior to the beginning of any simple work previous work by the form on the same private front should be executed:

$$T_{i+1}^w = \max_{j=1,n} \sum_{k=1}^j (t_{i,k} - t_{i+1,k-1}), \quad (2)$$

where  $t_{i+1,0}$  – operation time on zero front is equal to zero.

Let's take advantage the previous formula (2) and we will define the periods expansion works B, C and D, shown by following formulas (3).

Therefore, reconstruction historical building has the big social and economic value. Its primary goals consist not only in prolongation service life buildings, but also in liquidation physical and an obsolescence, improvement conditions residing, equipment residential buildings by the modern engineering equipment, increase operational characteristics and architectural expressiveness. It is offered to create in the city Odessa "the Corporate scientific and technical complex town-planning power reconstruction "CSTC T-PPR", as the innovative organizational structure using in practice the saved up scientific and technical potential for reconstruction buildings historical building of Odessa under standards power efficiency. The considered method of calculation building stream M-CUR possesses positive property of an effective utilization of cost labor and machine resources, at their considerable (defining duration of works) costs; however thus there are breaks in development of separate private fronts of works.

$$\begin{aligned}
 T_B^w &= \max \left\{ \begin{array}{l} 7-0=7 \\ 7+9-0-2=14 \\ 7+9+6-0-2-3=17 \\ 7+9+6+8-0-2-3-2=23 \end{array} \right\} = 23; \\
 T_C^w &= \max \left\{ \begin{array}{l} 2-0=2 \\ 2+3-0-13=-8 \\ 2+3+2-0-13-17=-23 \\ 2+3+2+3-0-13-17-11=-31 \end{array} \right\} = 2; \\
 T_D^w &= \max \left\{ \begin{array}{l} 13-0=13 \\ 13+17-0-5=25 \\ 13+17+11-0-5-8=28 \\ 13+17+11+15-0-5-8-4=39 \end{array} \right\} = 39.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

## **8.4 Development of textile materials with electromagnetic characteristics using nanotreatment and surface modification**

### **Abstract**

The work is devoted to the study of self-organization processes of conductive layers of polyaniline nanoparticles in heterocoagulation on polyamide textile material. It is shown that the particle size distribution of the polyaniline dispersion has a normal distribution with a maximum of 150 nm. It is found that the electrical resistance of the multilayer textile material with a polyaniline coating obtained by using surface modification by method of layer-by-layer that depends on the number of layers and the type of the surfactants. The process of a heterocoagulation of polyaniline particles on the polyamide textile material described by the quasi-chemical reaction model.

Functional textile materials with magnetic properties was prepared by synthesis of magnetite nanoparticles using ferric chloride, ferrous sulfate and sodium hydroxide using nanotreatment. The morphology, crystal phase, magnetization properties and chemical structure of the textile materials were characterized by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), vibrating sample magnetometry (VSM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). It was found that  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles with average crystal sizes of about 12.5 nm. The uniform distribution of the iron oxide nanoparticles on the fiber surface was confirmed by SEM and EDX. The magnetite treated samples showed reasonable saturation magnetization values of about  $7.5 \text{ emu g}^{-1}$ . Interestingly, the tensile properties of the treated samples were enhanced compared with the untreated polyamide textile materials.

### **Development of textile materials with electroconductive characteristics**

Electroconductive nanostructured materials not containing metals are of interest in several areas of their use [266]. This is possible due to the self-organization of nanoparticles formation of different structures. The character of formed structures, the ability to control their formation is of interest as from the scientific [267–269], and from a practical point of view because of the influence on the properties of nanosystems. The possibility of obtaining conductive fibers by deposition of

nanoparticle layers of polyaniline on the surface of nonconductive fabric by heterocoagulation mechanism (the term was used in [270]) is demonstrated in [5–6].

The use of deposition of nanoparticles that provide special properties of textile material as a substrate is important for many reasons. Textile material provides a much larger surface area than a smooth surface, which is extremely important for their use. The particle size applied to the surface of the textile material should be smaller than for particles forming a conventional coating of the solution. The nanoparticles deposited on the textile material can be used as a substrate for the subsequent formation of the next layer of nanoparticles by the layer-by-layer method. The saturation of nanoparticles of a particular substrate can be regulated by changes in physical parameters (pressure, temperature) or changes in chemical composition [267]. The "down" approach includes various grinding methods. The result of these new synthetic methods is the development and synthesis of a much larger range of polymers with the possibility of self-organization. This makes it possible to consider models of complex composites, such as functional copolymers, which can be combined with larger objects, such as block copolymers of micelles. If these micelles can organize themselves in a higher level of microscopic structure, the functionality of the original copolymer can be transferred to a higher level of functional unit. This is the essence of the new approach and the key aim of nanotechnology is to form a highly organized structure [266].

The purpose of this part of the work: to characterize the process of self-organization of the electrically conductive layer of nanoparticles in the process of heterocoagulation using surface modification by layer-by-layer method on the example of polyamide textile material – nanosize polyaniline and obtain multilayer textile materials with conductive properties.

For studies was used polyamide (PA) comprehensive thread with a linear density of 15.6 Tex and polyamide knitted fabric, which is obtained from this polyamide thread. Polyamide stockinet of satin-stitch texture was used as the textile material. Conductive textile material is prepared as follows using nanotreatment and surface modification by layer-by-layer method. Aniline is subjected to oxidation in a

processing solution at a certain bath module in the presence of surfactant (SAS) and textile material. As surfactants was used non-ionic (OS-20) (NSAS), cationic (alkamon OS-2) (CSAS) and anionic (sulfonol) (ASAS) substances. Ammonium peroxysulphate was used as an oxidizer. Equivalent oxidizer/aniline ratio was 1:1.3. The treatment process lasted for 15–30 min. at the temperature of 18–22 °C. Thus, nanodispersed aniline was formed on the polyamide textile by heterocoagulation mechanism [273]. Next, the conductive textile material was washed with distilled water and dried. The specific electrical resistance of the processed textile material was determined by a two-zone compensating method, which allows determining both bulk and surface resistance (R) with using of ohmmeter.

The particle size distribution was determined using Mastersizer 2000 (Malvern, UK) with appropriate software, which includes the Mie theory. Using the device allows to obtain the size distribution curves as a function of the numerical fraction of particles according to their size.

The surface morphology of the treated polyamide materials were characterized by scanning electron microscopy (SEM) MIRA 3 LMU, Tescan with a resolution of  $\pm 1$  nm, and energy-dispersive spectroscopy (EDX) with chemical analysis Oxford X – MAX 80 mm<sup>2</sup> with appliance uncertainty  $\pm 1\%$ .

In determining, the amount of polyaniline on the textile material was used photolorimetry. The concentration of polyaniline in the bath assumed to be proportional to the concentration of aniline until synthesis (characterized by optical density (D)) [268].

Polymers that are capable of self-organization, on the one hand, can be are ordered to form stable nanostructures on the other – to easily change the form of self even when there is change of external parameters. Usually, the synthesis of nanostructured polymers carried out in the presence of hard or soft (micelles, surfactant solutions, polymer gels, emulsions) template. In our case, the controlled synthesis of nanostructured polyaniline carried out in the presence of surfactants.

Established that the deposition of polyaniline particles on polyamide textile material is carried out from the nanosystem: dispersion of polyaniline nanoparticles in

the treatment bath. Fig. 1 shows the distribution curve of the particle size of polyaniline dispersion in a numerical proportion of particles depending on their size.

According to the formal features, nanoparticles are particles whose particle size of one of which is less than 100 nm. In fact, there is a more correct approach: a particle belongs to a colloidal particle (nanoparticles), if the reduction in size affects the achievement of qualitatively new properties.

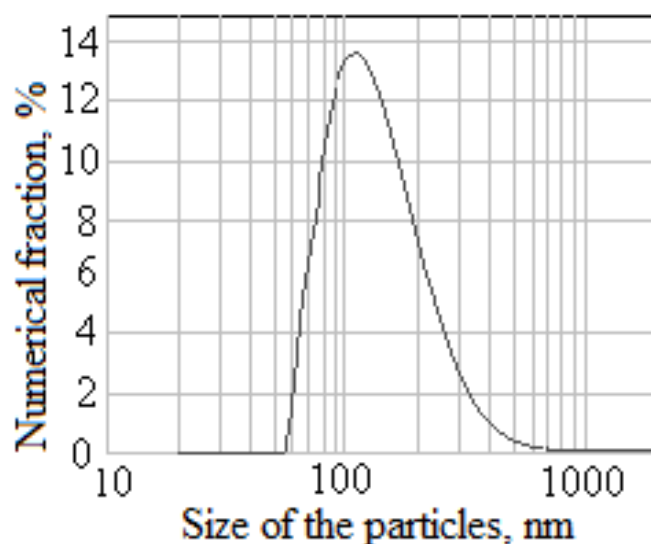


Figure 1. Differential curve of polyaniline particles sizes distribution.

At the nanosystems is possible wide size distribution: the multiple dispersed or reversible process of aggregation is realized lognormal particle size distribution [275]. In many cases, a set of particles with an average size of between 100 and 1000 nm is also considered as nanoparticles, as part of the particle size is within range of less than 100 nm, and a part of the particles can be dynamic agglomerates consisting of particles smaller than 100 nm. Therefore, the investigated in the work the dispersion of polyaniline are regarded as nanosystems.

The fig. 2 shows the dependence of the optical density of the solutions of polyamide materials, dyeing polyaniline (D), on the concentration of aniline (C) in a presence: 1) preparation OS-20 and 2) alkamon OS-2 is in the coordinates of Langmuir equation [270]. Langmuir equation is derived and is used to describe of the adsorption, for example, the molecules on the surface as a monomolecular layer [276]. It is well known [277, 278] that the deposition of nanoparticles on the surface may be in the form

of monolayers by self-organization, in particular, can be synthesized on monolayers polyaniline films [279].

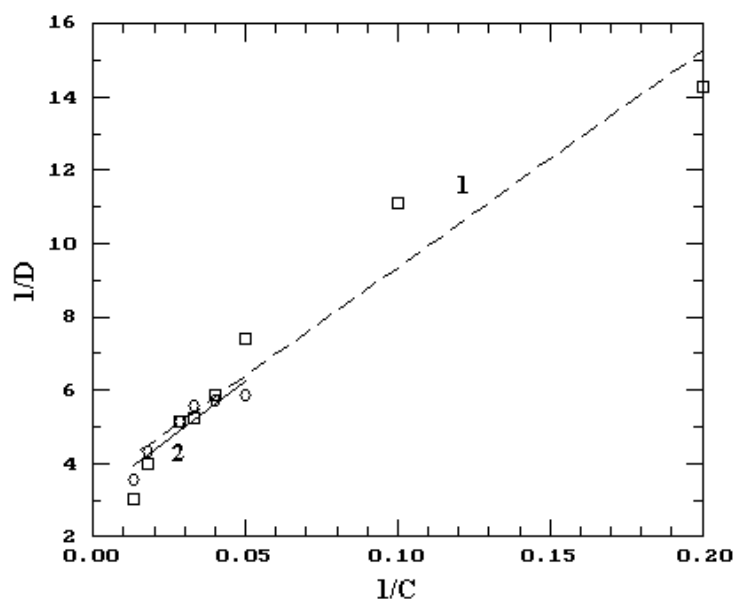


Figure 2. The dependence of the optical density ( $D$ ) of the solutions of treated polyamide materials on the concentration of aniline ( $C$ ) in a presence: 1) OS-20 and 2) alkamon OS-2 is in the coordinates of Langmuir equation.

The balance between the process of peptization and heterocoagulation (sorption – desorption) of colloidal particles on the surface in the form of a quasi-chemical reversible reaction (possibly at a relatively small depth of the second minimum in the area of potential energy of interaction between particles) is presented. Using a reversible quasi-chemical reactions generally accepted in the study of molecular adsorption processes [276]. The equilibrium between the surface "active" centers  $A$ , the nanoparticles of dispersion  $NP$  and temporarily settled on the surface of the nanoparticles  $A \cdot NP$  is determined by quasi-chemical equation reversible reaction:



If the maximum concentration  $A$  (the active sites of surface) with the potential to form compounds with the nanoparticles in the 1: 1 ratio is  $C_{A,\infty}$ , the concentration of active centers remaining free, is determined value  $(C_{A,\infty} - C_{A \cdot NP})$ . At a concentration of nanoparticles in the dispersion  $C_{NP}$  of the equilibrium constant for reaction (1):



$$K = \frac{C_{A \cdot NP}}{C_{NP}(C_{A, \infty} - C_{A \cdot NP})} \quad (2)$$

At the coordinates  $1/C_{A \cdot NP} = f(1/C_{NP})$ , the equation (2) is converted into a linear equation:

$$\frac{1}{C_{A \cdot NP}} = \frac{1}{C_{A, \infty}} + \frac{1}{KC_{A, \infty}} \cdot \frac{1}{C_{NP}} \quad (3)$$

Analysis of equations (2) and (3) shows that the formation of a monolayer of particles of the dispersed phase in the reverse process of heterocoagulation of the isotherm sorption equation is similar in shape to the Langmuir monomolecular adsorption equation at the interface. The coincidence of equations for monolayer adsorption [276, 280], to dissolve with the formation of solvates [281]. For heterocoagulation of nanoparticles on the surface of the fiber, due to the realization of a situation where a compound is formed with a limited by the lifetime of (reversible process), which creates the conditions for the process of self-organization with the creation of an ordered structure.

The polyamide fiber in acidic media ( $\text{pH} < 5$ ) has a positive surface charge, nanoparticles polyaniline synthesized in the presence of anionic surfactant – sulfonol have a negative charge as a result heterocoagulation in this case proceeds according to the classical mechanism [270] as interaction of particles with the opposite charge.

The electrostatic interaction of the particles in this case is sufficiently intense to the irreversibility of the process. As a result, when used as a stabilizer sulfonol dependence of the amount of polyaniline on the textile concentration of polyaniline in the bath cannot be described by an equation identical in form to the Langmuir equation. The absence of restructuring possibilities of the deposited layer, apparently, can lead to a layer structure similar fractal structure in the aggregation diffusion limited.

It is determined that the main mechanism of formation of polyaniline coating in the process of aniline oxidation in the presence of surfactants is heterocoagulation of polyaniline nanoparticles on the surface of textile material. In this regard, it is necessary to establish the possibility of achieving self-organization of nanoparticles by the layer-by-layer method to obtain multilayer textile materials with electrically conductive properties. The formation of nanostructured surface layers provides multi-

stage synthesis of polyaniline nanoparticles with a change in the surfactant type and, as a consequence, with a change in the surface charge of the polyaniline nanoparticles. It is of interest to study the effect of the process of multistage heterocoagulation of polyaniline nanoparticles on the conductive properties of polyamide textile material.

The results of morphological studies indicate the uniform deposition of polyaniline particles on the surface of textile materials (Fig. 3). Perhaps this is due to the increased affinity of the organic substrate and the organic disperse phase. The proposed method for polyaniline synthesis ensures the formation of polyaniline particles with bimodal size distribution, namely, isomorphic particles of polyaniline of small size ( $87 \text{ nm} \pm 15 \text{ nm}$ ) and anisomorphic particles in the form of plates with an average linear size of  $496 \text{ nm} \times 180 \text{ nm}$  and a thickness of about  $90 \text{ nm}$ .

The relatively high content of nitrogen in the surface layer of the composite (experimentally 6.8%, theoretically 15.3%), obtained from the results of elemental analysis by the method of energy-dispersion spectroscopy, confirms the high degree of coating the surface of the textile material with particles of polyaniline.

Small-size particles also practically do not form aggregates, as evidenced by their distribution on the histogram and low polydispersity (Fig. 4).

When the ratio between the aggregative and sorption stability of micelles with solubilized polyaniline changes, the particles, which are stabilized by adsorption of ASAS, cause the transition to the heterocoagulation mechanism of treatment with nanostructured polyaniline instead of possible absorption (dissolution) of polyamide. Management of sorption stability is also required for other processing processes that occur in different ways of nanoscale processing in order to obtain special properties of textile materials.

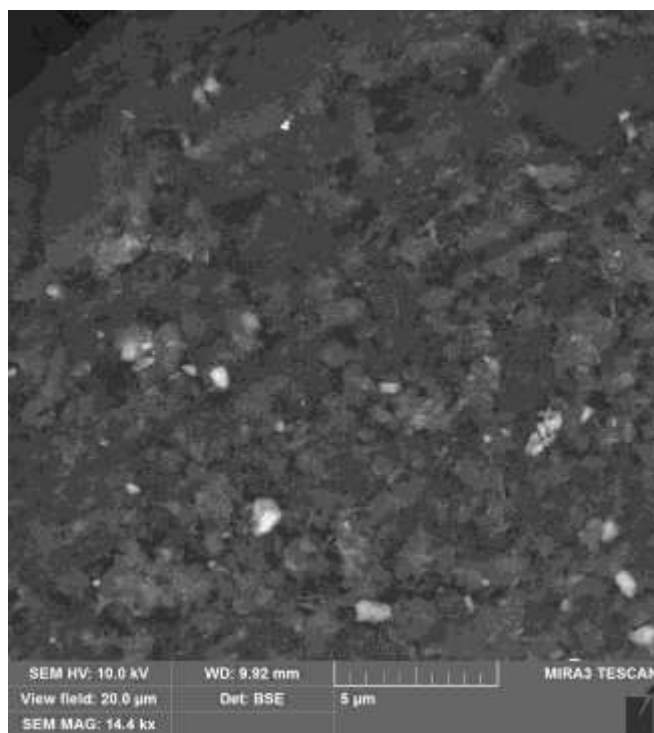


Figure 3. The SEM images of the treated polyamide materials with polyaniline nanoparticles.

Thus, the distribution of the particles of the polyaniline (conjugated organic polymer) synthesized in the presence of ASAS according to its sizes in the initial dispersion (Fig. 1) shows the synthesis of nanoparticles in the treatment bath and the distribution of polyaniline particles on the polyamide textile material according to the SEM Fig. 3, Fig. 4). Also shows the detection of sorption affinity of the particles of the dispersed phase to the surface of the polyamide textile material.

However, high frictional properties are evidence of the deposition of polyaniline nanoparticles on the PA surface of the textile material by the heterocoagulation mechanism.

It should be noted that the surface layer of polyaniline forms the plates of polyaniline. The formation of aggregates of polyaniline particles, which is associated with the conditions of their synthesis when using surfactants, is uncharacteristic. As a result, a layer of polyaniline on the surface of a textile material consists of a monolayer of planar particles of polyaniline, whose thickness is about 90 nm.

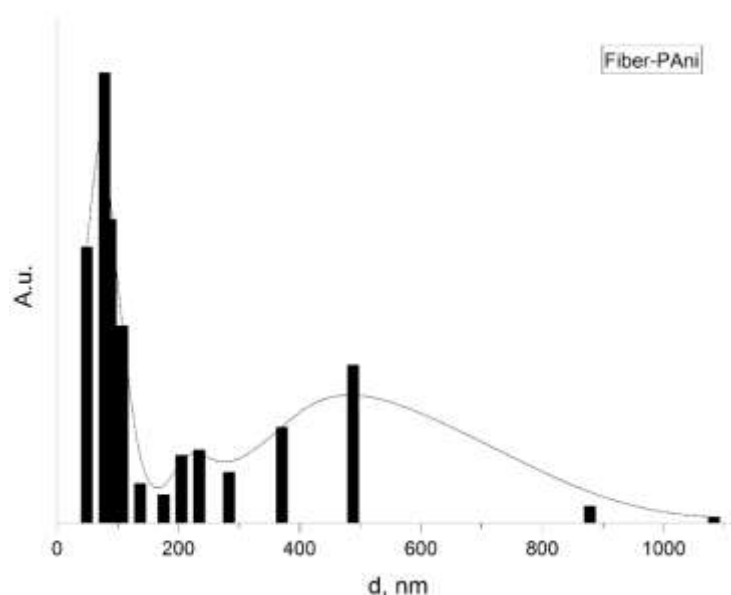


Figure 4. The histogram of distribution of the polyaniline particles in sizes on the textile material.

It is known layer deposition (layer-by-layer) polyelectrolytes, proteins, colloidal particles on a substrate [272–277]. Method of layer-by-layer may be applied to increase the electrical conductivity of essentially textile composite material – electrically conductive polymer layer on the surface. In the method of layer-by-layer of like or different charges and the surface of the deposited particles of different nature plays an important role [274–277].

In the work was carried out multistage synthesis of polyaniline conductive layer using at each stage of the dispersions stabilized by surfactants, form micelles with a charge opposite to the charge of the surface of the textile (Fig. 5).

A multilayer coating on the surface of the textile material was obtained using the layer-by-layer method under the condition of changing the surfactant type. This contributes to the increase of the specific electrical conductivity of TM by an order of magnitude from  $1 \times 10^2$  S/m to  $1 \times 10^3$  S/m (Fig. 5). The linear dependence of the electrical conductivity of the treated TM on the number of stages of polyaniline deposition in the presence of different types of surfactants was obtained. This indicates that differently charged polyaniline nanoparticles, stabilized alternately ASAS and CSAS, form electrically conductive layers. This is done due to the implementation of

the mechanism of self-organization of polyaniline nanoparticles, by forming a multilayer coating on the surface of polyamide TM with a stable ordered nanostructure.

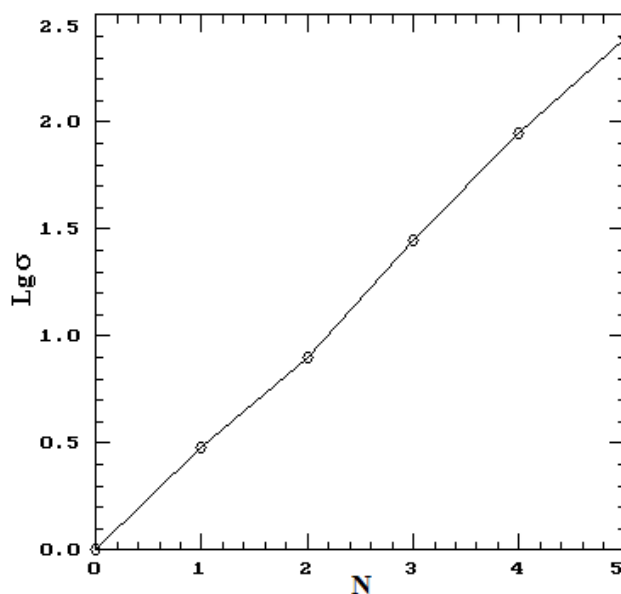


Figure 5. Dependence of the specific electrical conductivity of TM ( $\sigma$ ) on the number of stages of deposition of nanoparticles (N) with a change in the type of surfactant (SAS).

Fig. 6 (a) shows the change in resistance of the textile material from the number of stages at realization the deposition of polyaniline multistage treatment process in the synthesis of polyaniline. Each subsequent stage of the deposition was carried out with the change of the type of surfactant, and as a consequence, the change of the charge of polyaniline nanoparticles.

Thus, during the deposition process was carried out a process of classical heterocoagulation [270, 271], when the process heterocoagulation participate oppositely charged surface (in this case the surface of the particles of polyaniline and the textile material). With an increasing number deposited layers significantly changes the resistance of material (two orders). The character of the electrostatic interaction assures regularity decrease in resistance with each subsequent layer (by 3 times).

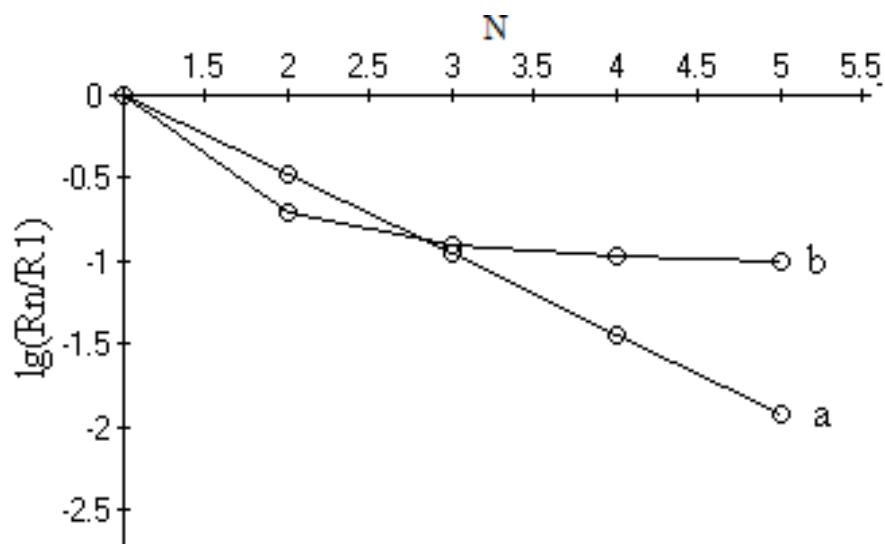


Figure 6. The resistance change of the textile material ( $R$ ) on the amount of stages of deposition of polyaniline at realization of the multistage process of treatment in the synthesis of polyaniline.  $R_n/R_1$  – ratio of the resistance of polyaniline in  $N$  layers deposited ( $R_n$ ) successively to the resistance in the same layer ( $R_1$ ).

Another character is the dependence of the resistance of the textile material the number of steps of deposition of polyaniline nanoparticles in the implementation of the multistage process of treatment in the synthesis of polyaniline under conditions of use in each step of the same SAS.

Fig. 6 (b) is characterized by the change in resistance when applied to 5 layers of polyaniline in the presence of anionic surfactant – sulfonol. Constancy charge sign polyaniline particles leads to an efficient adsorption of the first layer, followed by deceleration resistance decrease with increasing number of layers (and, presumably, with progressive decrease in the quantity of sorbed polyaniline). This situation is similar to the adsorption BET [278] – the interaction energy of the first layer of adsorbed molecules sufficiently greater than the energy of interaction between each successive layer.

Thus, the example system polyamide textile material – polyaniline shows that the change in the balance of forces of interaction with the surface of the nanoparticles by changing conditions heterocoagulation (deposition) may be used for the various

structures in the process of self-organization of nanoparticles and, consequently, nanosystems with different properties. The resulting conductive textile material is proposed to be used as a textile neutralizer. A modern highly efficient way of removing static charges of electricity in the finishing industry has been developed. Textile neutralizer is environmentally friendly, inexpensive, easy to use. It is recommended to use electrically conductive textile materials as technical special purpose textiles in the production of clothing for protection against the influence of powerful electromagnetic fields, clothing with antistatic properties, heating of clothing, antistatic and reinforcing additives to fabrics and polymers.

### **Development of textile materials with magnetic characteristics**

Over the past decade, there is increased interest in multi-functional textiles with potential technological application. Development of textile products that contain magnetic nanoparticles will provide the new properties for various applications [14–26]. The search for new approaches and methods for the creation of textile materials that contain nanoparticles of iron-oxide compounds is connected with the possible development of nanocomposite textile materials with a set of specified properties (magnetic). Obtaining and investigation of properties of iron-oxide nanoparticles compounds are the subject of many studies, but to the questions of obtaining of the magnetic textile materials are devoted only a few works [292, 293].

The purpose of the study. The investigation of morphological and structural characteristics the starting materials and of the magnetic nanocomposites based on them using XRD and SEM, determination of the chemical composition the surface of the textile material before and after the modification, determination of a particle size of the iron oxide inside and on the surface of the obtained composite materials.

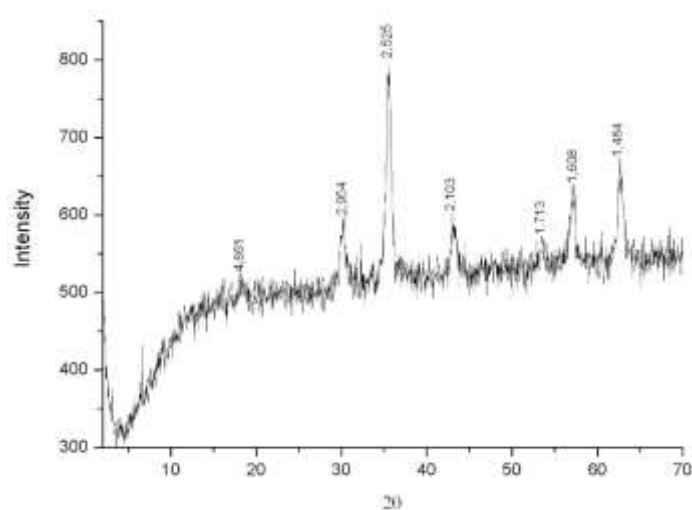
For studies was used polyamide comprehensive thread with a linear density of 15.6 Tex and polyamide knitted fabric, which is obtained from this polyamide thread. There investigated of magnetite powder form synthesized without fiber under the same technology [26–28].

Polyamide textile material containing particles of synthetic magnetite was

obtained of using the mechanism *in situ*. As reagents was used chemical substances without further purification: iron chloride ( $\text{FeCl}_3$ ), ferrous sulfate ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) and ammonium hydroxide ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ). Prior to the treatment polyamide fiber material washed with 1 g/l nonionic detergent at 60 °C for 20 minutes, then washed with distilled water to remove any impurities. Iron oxide particles were synthesized in the bath in the presence of polyamide fiber material, that contains reagents  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  in amounts previously calculated ( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  molar ratio = 2) and  $\text{NH}_4\text{OH}$  (pH = 11 – 12), total volume manufacturing bath is brought to 100 ml with distilled water. The process was carried out at 100 °C for 1 h, resulting in the preparation of magnetite particles. Finally, the treated samples were washed with distilled water for 10 min and dried at room temperature.

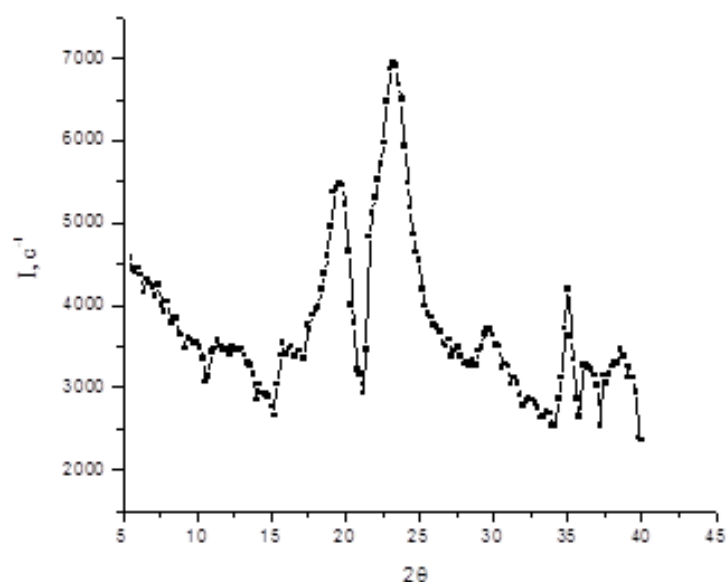
X-ray diffraction analysis (XRD) was performed with a DRON-UM1 X-ray diffractometer using a Co  $K\alpha$  radiation source ( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ ) operating at 40 kV to investigate the crystalline size and phases of the synthesized iron oxide nanoparticles in the polyamide fiber. The angular range of 10 – 80 degrees, in increments of 0.05 degrees. Diffraction patterns are recorded digitally in a file format  $2\theta$  (degrees) – I (intensity,  $\text{s}^{-1}$ ) and shown in Fig. 7.

The surface morphology of the treated polyamide materials were characterized by scanning electron microscopy MIRA 3 LMU, Tescan with a resolution of  $\pm 1 \text{ nm}$ , and energy-dispersive spectroscopy (EDX) with chemical analysis Oxford X – MAX 80  $\text{mm}^2$  with appliance uncertainty  $\pm 1\%$ .



(a)





(b)

Figure 7. XRD spectra of the (a) synthesized iron oxide nanoparticles and the (b) treated polyamide textile materials.

#### Synthesis of iron oxide nanoparticles

In the preparation method, the iron oxide nanoparticles were formed after mixing the iron salts with NaOH solution. The end product is a black precipitate of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles or red-brown hematite nanoparticles, depending on the applied temperature. The following reactions may proceed resulting in the nanoparticle compound:



FeOOH can be also formed by the partial oxidation of ferrous hydroxide by oxygen in dissolved air according to reaction (6).



In this study, the Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> molar ratio was more than the stoichiometric ratio, guaranteeing a sufficient amount of Fe<sup>2+</sup>, complete consumption of FeOOH and the formation of pure magnetite nanoparticles. According to the applied preparation procedure, the synthesis proceeded at high pH value, during which hydroxylation of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> species occurred simultaneously (reactions (4) and (5)). Under the

applied conditions as the reaction mixture contained an excess of  $\text{OH}^-$  ions and sufficient amount of iron ions, a large amount of particle seeds instantaneously formed. One hour duration of the process at boiling point allowed enough time for complete growth of the magnetite nucleus. Although the conventional pH for the preparation of magnetite nanoparticles is  $\sim 11$ , herein we adjusted the pH at 12 for simultaneous synthesis of particles in the polyamide fiber. It has been reported that the growth of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nuclei happens more easily when the solution pH is higher than 11. Therefore, the mean diameter of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles increases with the increase of pH to higher than 11.

According to the heterogeneous nucleation process it can be postulated that the local concentration of hydrolyzing ions ( $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{2+}$ ) at the solid/water interface is higher than that in the aqueous bulk phase, thus the iron oxide nanoparticles were more nucleated in the textile materials.

### ***XRD investigation***

Fig. 7 shows the XRD spectra of the synthesized iron oxide nanoparticles (a) and the treated polyamide textile materials (b).

By comparison to the XRD pattern of the synthesized magnetite nanoparticles with diffraction peaks at  $2\theta$  angles  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  (major),  $43^\circ$  the successful synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles in the treated polyamide sample can be confirmed by the characteristic peak at  $2\theta$  angle  $35^\circ$  in addition to the main peak of the original polyamide fiber at  $2\theta = 17^\circ - 25^\circ$ . Using Scherer's equation and from the widths of the peaks at  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  and  $43^\circ$  the crystallite sizes of the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanopowders and the synthesized nanoparticles in the treated textile materials were calculated to be 11.8 nm, 12.8 nm and 12.9 nm, respectively. The average size of nanoparticles is  $12.5 \pm 0.47$  nm.

For composite polyamide/nanomagnetite average size of the crystals of inorganic phase is  $10.0 \pm 1.42$  nm. For this composite systems also decrease the average size of magnetite crystals during their formation in the volume of polyamide matrix. It can be concluded that the synthesis of nanoparticles in the textile materials inhibited the further growth of the prepared iron oxide crystals resulting in smaller crystal sizes. The crystal structure of the textile materials in the processing did not change, indicating the

placing nanomagnetite on the surface of microfibrils or amorphous areas of polyamide structure.

### *SEM and EDX analyses*

The deposition of magnetite particles in the volume of textile materials particle size determination studied by XRD. However, it is appropriate to consider and explore the surface of the textile materials after nanotreatment with the use of SEM.

The SEM images of the untreated polyamide textile materials and polyamide with nanoparticles of the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  are shown in Fig. 8. From these micrographs shows that there are areas with a continuous layer nanomagnetite and areas where nanomagnetite is in the form of individual particles  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /aggregates.

This composite system is characterized by coverage of the surface polyamide textile materials slightly higher than 60%, which is possibly due to the relative chemical inertness polyamide as substrate. During the deposition of the nanomagnetite on the surface of polyamide textile materials the layer the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles with an average thickness of  $360 \pm 56$  nm is formed.

In other parts of the surface covered with a layer of polyamide textile materials can be seen the individual particles of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  of about 25 nm, the size of their aggregates 100 – 300 nm and micron size particles. Analysis of surface nanocomposite shows that the average size of individual particles of nanomagnetite is  $54 \pm 30$  nm.

With all things being equal can assume that the low reactivity of polyamide surface slightly affects the stability of the dispersion of magnetite nanoparticles and, as a result the aggregation processes are expressed weakly. Formation of large-sized aggregates though it is, but is atypical for this composite system.

The structure of the surface layer of a large quantity identified small in size (about 20 nm) particles of nanomagnetite. Nanocomposites polyamide-nanomagnetite characterized by sufficient iron content in the surface layer, which reaches 22 wt.%.

The successful synthesis of the iron oxide nanoparticles on the treated samples was further confirmed by the chemical compositions analyzed by EDX.

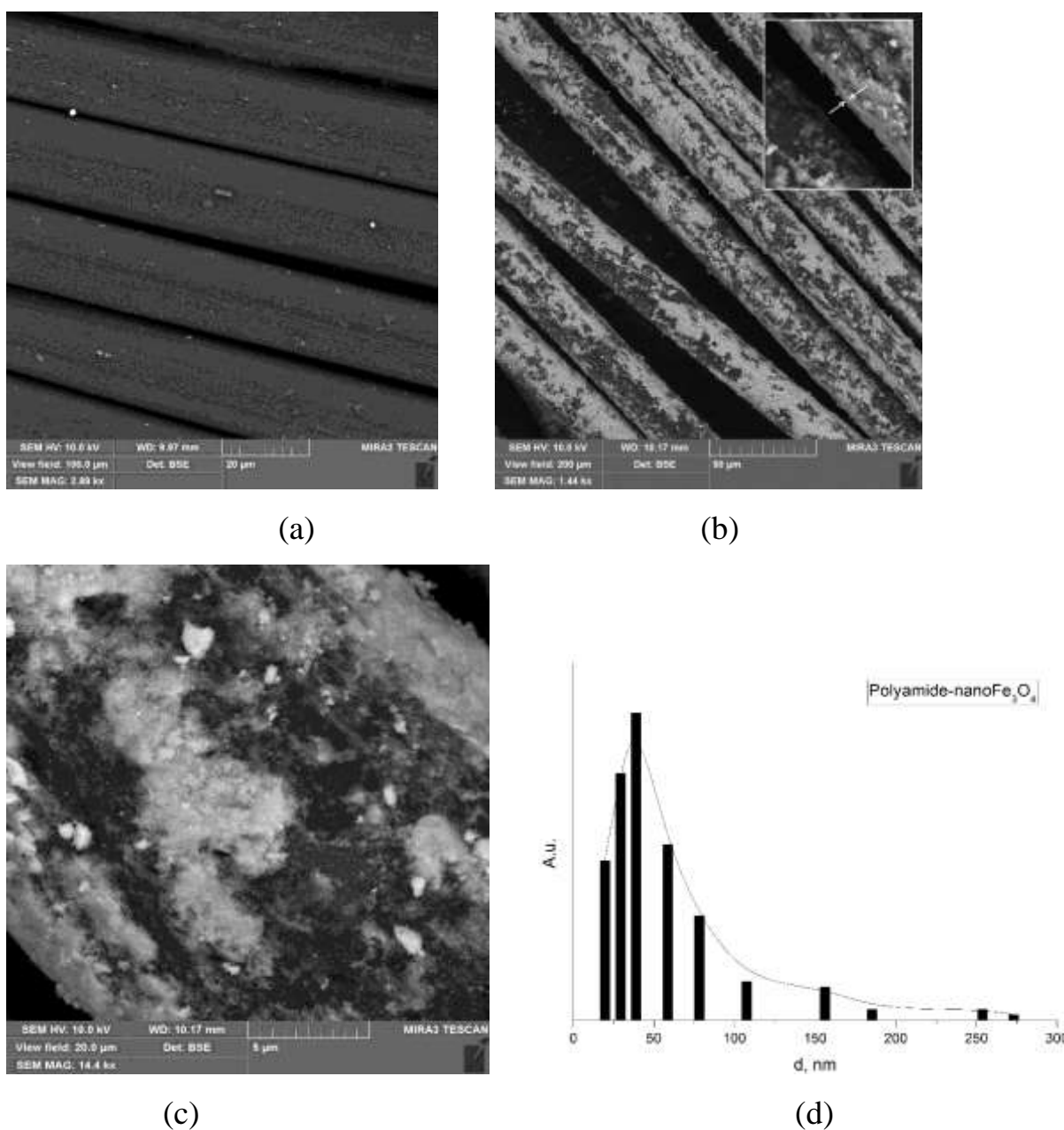


Figure 8. The SEM images of the (a) untreated polyamide materials and polyamide with nanoparticles of the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, (b, c), the histogram of distribution Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> in size (d).

As shown in Fig. 9 (a, b) and Table 1 iron and oxygen are two elements on the treated polyamide textile materials apart from the carbon that relates to the polyamide substrate.

Moreover, the mapping images shown in Fig. 9 further confirmed the presence of iron on the treated polyamide textile materials.

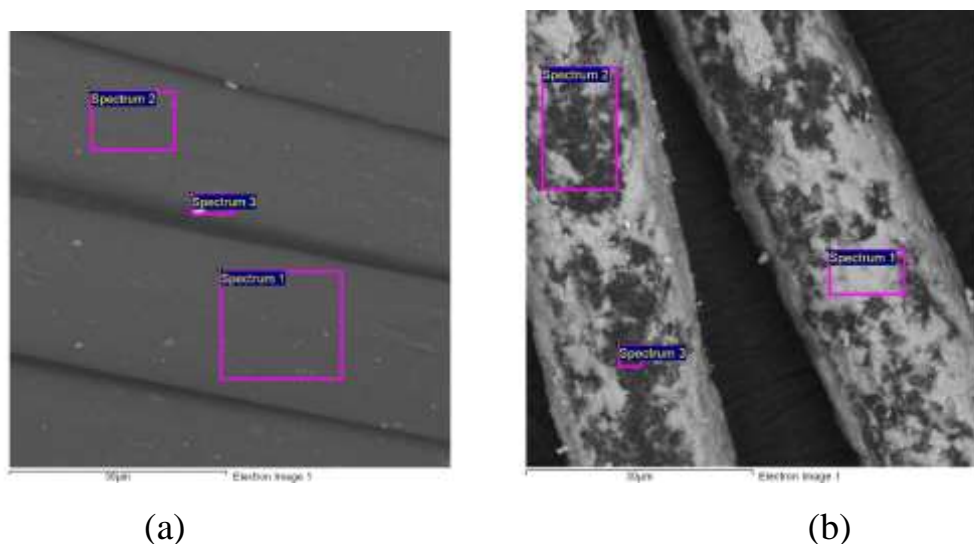


Figure 9. EDX spectra and mapping images of (a) untreated and (b) treated polyamide samples.

Table 1

EDX results of untreated and modified polyamide textile material in selected areas

Elements / Areas of analysis	C	O	Fe
	Contents, %		
Untreated sample 1	76,2	23,8	-
Untreated sample 2	77,5	22,5	-
Untreated sample 3	72,4	27,6	-
Treated sample, spectra 1	32,5	21,9	45,6
Treated sample, spectra 2	56,8	26,4	16,8
Treated sample, spectra 3	67,8	27,1	5,2

### *Magnetic properties*

The magnetization curves of the synthesized magnetite nanoparticles and their corresponding treated polyamide textile materials were measured using a vibrating-sample magnetometer (VSM) at room temperature and the graphical representation of the relationship between the applied magnetic field (H) and the induced magnetization (M) is shown in Fig. 10. A sharp increase in magnetization was observed by increasing the applied field from 0 to 8000 Oe, and the magnetization was saturated at about 7000 Oe, 3500 Oe, 5500Oe and 2500 Oe for synthesized magnetite nanoparticles, treated

polyamide textile materials.

A decrease in saturation magnetization of the treated samples (treated sample:  $7.5 \text{ emu g}^{-1}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sample:  $65 \text{ emu g}^{-1}$ ) was obtained compared to the corresponding nanoparticles. Also, it is apparent that the magnetic hysteresis loop was narrow for the treated sample and extremely small coercivity and remanence values were obtained for the iron oxide nanoparticles synthesized on the polyamide indicating the almost superparamagnetic nature of these particles. This transition from ferromagnetic to superparamagnetic behavior could be due to the smaller crystal size of the prepared nanoparticles on the treated polyamide textile materials.

The magnetic sensitivity of the treated polyamide textile materials was also confirmed by attraction towards a magnet. The hydrothermal synthesis of magnetite nanoparticles on polyamide textile materials has been reported to create a magnetic fabric with the saturation magnetization of  $3.8 \text{ emu g}^{-1}$ . Therefore, *in situ* synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles in polyamide fiber in this study was more effective in producing a magnetic fiber with saturation magnetization of  $7.5 \text{ emu g}^{-1}$ .

The possibility of determining of the size of structural elements in a variety of nanocrystalline materials using SEM and XRD methods was analyzed. It is shown that the size of the nanoparticles depends on the methods of synthesis (in powder or with the use fiber matrix by mechanism *in situ*). Functional composites based on the polyamide textile material with stable magnetic properties were obtained. The practical potential of the treated samples in shielding electromagnetic waves was predicted and is under investigation.

The mechanism of loss of microwave energy in a material is the result of its dielectric and magnetic properties (Fig. 10.), which depends on the imaginary part of the complex permittivity and complex permeability. Therefore, it is necessary to study complex dielectric permeability and complex permeability. As it well known, the real ( $\epsilon'$ ,  $\mu'$ ) and imaginary ( $\epsilon''$ ,  $\mu''$ ) parts of complex permittivity and complex permeability characterize the storage and loss capacity of electric and magnetic energy, respectively, of the material. The dielectric constant was determined by the standing line method. The thickness of the sample was 0.5 mm. It is known that the weakening of the

electromagnetic field for pure magnetite nanosized is about -32dB – 40dB in the range from 2 to 4 GHz. The relaxation of the electromagnetic field by the created textile material containing the magnetite nanoparticles is up to -5 dB in the range of 2–4 GHz (Fig. 11).

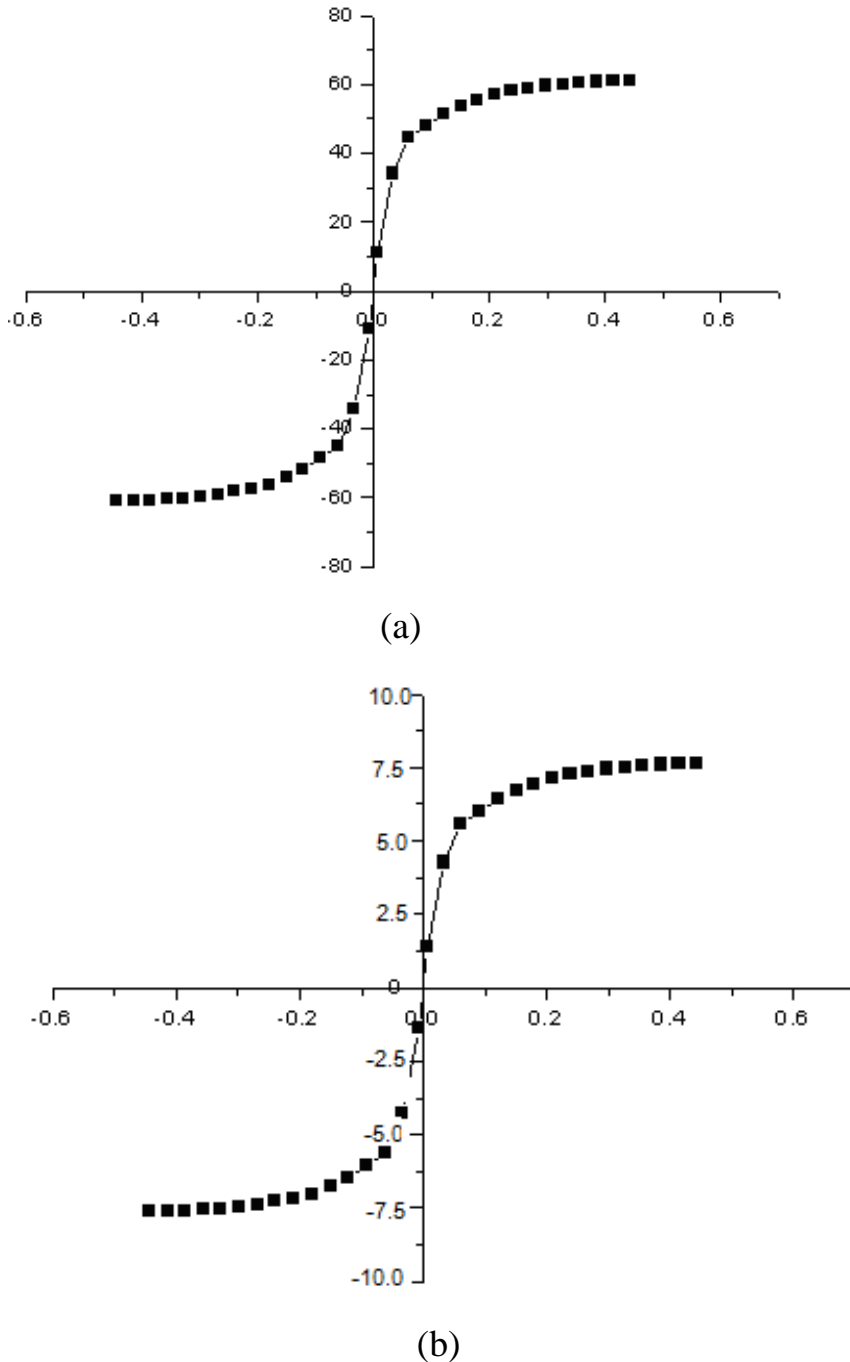


Figure 10. Magnetization curves of (a) synthesized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, (b) treated polyamide textile materials. X axis: magnetic field (H/Oe), Y axis: magnetization (M/emu g<sup>-1</sup>).

The use of textile material with magnetic properties as a textile screen for protection against electromagnetic radiation in the ultrahigh-frequency range is proposed. The use of flexible screens and absorbers of electromagnetic radiation on the basis of textile materials containing nanomagnetit has shown the promise of their application in the ultra-high frequency range, which contributes to the expansion of the range of technical textiles with protective properties. In the manufacture of screens of textile materials with the use of nanotechnology undoubted advantage is the high technological level of such products, which, together with the high production of modern equipment and the relatively low cost of both raw materials and process, causes the prospect of using the technology of obtaining textile materials with magnetic properties to create flexible designs of screens and absorbers of electromagnetic radiation.

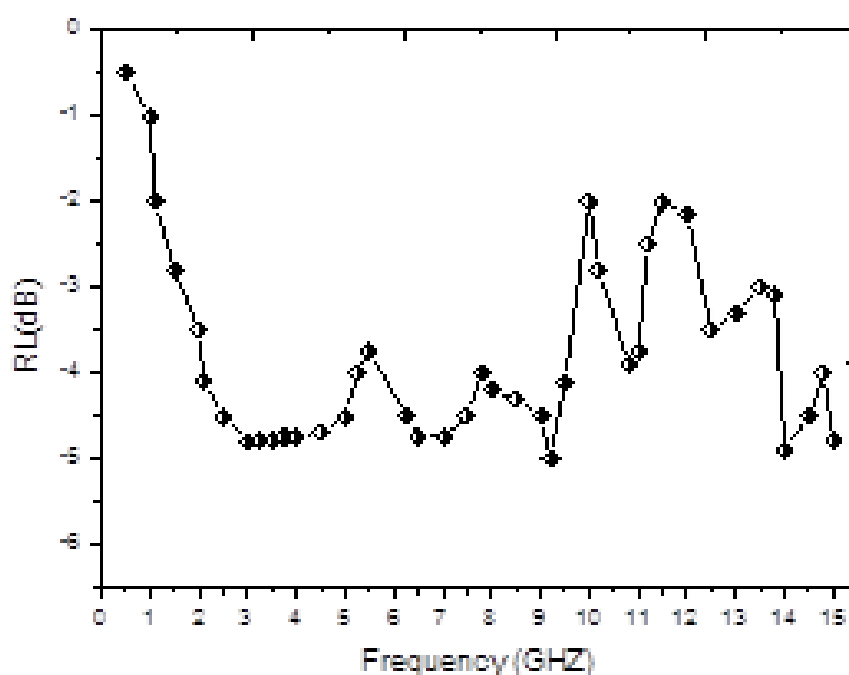


Figure. 11. The weakening of the electromagnetic field by a flexible absorbent on a textile basis.

The developed textile screen is distinguished by its ease of use, flexibility, durability, air permeability and other operational advantages.

Was obtained functional composites based on polyamide textile material with



stable magnetic properties using nanotreatment. Practical potential of treated textile materials is the ability to shielding of electromagnetic radiation and in the presence of antimicrobial effect and is in the process of reserch.

## **8.5 Analytical studies of piston pulsation homogenization of milk**

### **Introduction**

An important way to increase the competitiveness of the food industry in today's conditions of diversification of the export geography of dairy products is to reduce the cost of production, one way to achieve this is to increase the energy efficiency of the equipment used [294,295,296].

The normative technological operation of milk processing is homogenization. But the energy consumption of this process is one of the highest among the technological processes of dairy enterprises and reaches 8 kWh / ton [297,298,299]. The problem of reducing the energy consumption of homogenizers today remains unsolved, as evidenced by the fact that the vast majority of homogenizers installed in milk processing plants – valves and have the highest energy consumption among the existing ones.

A promising method of intensifying the dispersion of milk emulsion is the development and implementation of pulsation homogenization [300,301,302]. The main advantage of this type of homogenization is the dissipation of energy at the interface of the dispersive and dispersed phases, which prevents the creation of stagnant zones with low acceleration of the flows of the processed product. Such devices combine high energy efficiency (less than 2 kWh / ton) and dispersed indicators that exceed the indicators of valve machines (average particle size – up to 0.5  $\mu\text{m}$ ). However, the theoretical foundations and the mechanism of destruction of milk fat globules in pulsating homogenizers are insufficiently studied. This prevents the development of highly efficient homogenizers of this type and their widespread introduction into production.

### **1. Basic information about milk homogenization**

Homogenization of milk is a process of mechanical processing of milk emulsion, which leads to grinding (dispersing) of the dispersed (fat) phase. The

dispersion phase of milk is milk plasma, which in turn is a solution of milk sugar and salts in water with micelles of milk proteins [303,304]. The technological operation of homogenization is necessary in most schemes and recipes for dairy production: pasteurized and sterilized drinking milk and cream, fermented milk products, condensed milk, powdered and reconstituted milk, dairy drinks and milk with reducing agents, milk formulas for ice cream, etc. [295, 303]. Homogenization is used to: eliminate settling and stratification of milk fat and the development of oxidative processes; reduction of destabilization and partial beating during transportation and mixing; increase of stability at storage; improving the consistency of protein clots; reducing the amount of destabilized milk fat; improving taste, color; increasing the viscosity, etc. [305].

The size of milk fat globules in the process of homogenization decreases from 2.5–4  $\mu\text{m}$  to 0.7–2  $\mu\text{m}$  [297, 299, 305]. It is believed that homogenizers, in contrast to emulsifiers should provide an average dispersion of the emulsion - less than 1-2 microns. There are no clear recommendations regarding the sufficient degree of dispersion of homogenized milk. The guideline in this matter is the technological instructions and recommendations of the necessary modes of valve homogenization, according to which for drinking milk the efficiency of homogenization is not less than 75%. At least 85% of fat globules must be smaller than 1  $\mu\text{m}$ . It is believed that with an average dispersion of milk emulsion of 0.75–0.85  $\mu\text{m}$ , milk has a high degree of homogenization, and at 1.2  $\mu\text{m}$  - is sufficient for most types of dairy products.

## **2. The principle of operation of pulsating piston homogenizers**

In pulsating devices, the emulsion is formed due to the reciprocating motion of the piston [302, 306, 307, 308, 309, 310]. They are usually made in the form of plates or disks with holes mounted on vertical rods that perform reciprocating movements.

The principle of operation of the piston pulsation homogenizer (PPH) is the oscillating movements of its working body with a certain frequency and amplitude [311] (Fig. 1). The downward or upward movement of the percussion piston causes the

dispersion phase to move at a speed of  $v_{pl}$ , which flows around the fat globule moving in the opposite direction due to the force of inertia  $F_i$ . [308].

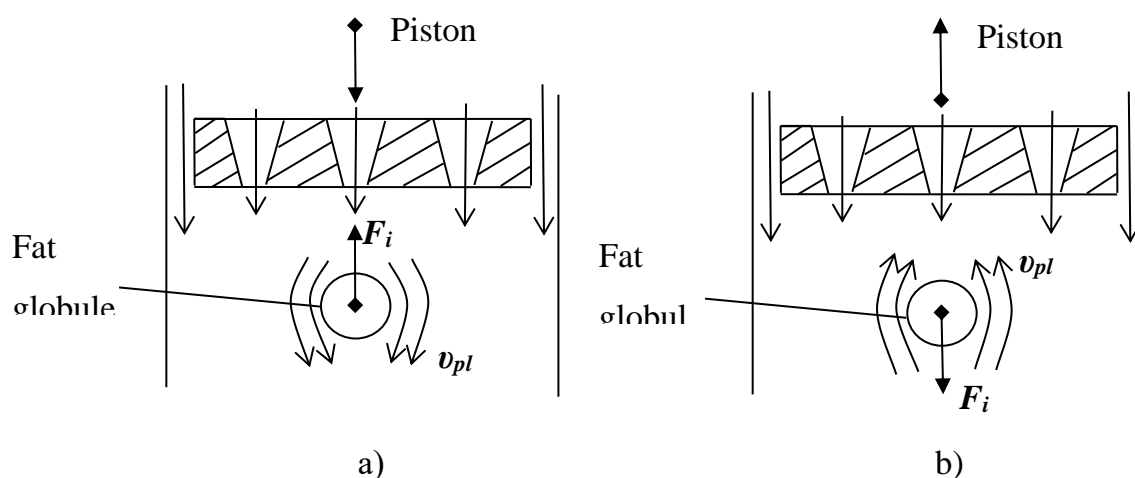


Figure 1. Scheme of inertia forces during pulsation homogenization during the movement of the piston-drummer: a) down; b) up.

There is a uniform dissipation of power, alternating pulsations contribute to the high acceleration of the flow and the sliding speed of the fat globule. In addition, the multiplicity of the volume of the emulsion through the holes of the piston is easily adjustable in a wide range, which further increases the efficiency of processing.

The dispersion of the emulsion after processing in such devices exceeds this figure for valve homogenization (which is considered a quality standard) due to the creation of high sliding speeds of the fat globule [312].

The pulsating homogenizer with two pistons connected by an elastic element showed high efficiency. When the dispersion of the milk emulsion at the level of valve homogenizers, the energy consumption of the industrial design is less than 2 kWh / ton [312,313, 314].

Thus, for the pulsating homogenizer, the main hydrodynamic factor in the dispersion of milk fat is the acceleration of the emulsion flow. The study of milk homogenization in this design will determine the effect of relative phase velocity, acceleration of emulsion flow, processing frequency on the processes of dispersing the fat phase of milk and increase the efficiency of the homogenization process to reduce energy consumption with a high degree of dispersion of milk emulsion.

### 3 Research methods

Theoretical dependences of milk homogenization parameters were determined with the help of classical dependences of hydraulics and mechanics, the theory of discrete-pulse energy input and oscillations of conservative linear systems. Graphical and analytical methods of local optimization were used to find the optimal process parameters.

Based on the analysis of literature sources, the following factors were identified that affect the process of homogenization of milk in PPH.

Kinematic:

- the angle of rotation of the crank,  $\alpha$ ,
- acceleration of the emulsion in the holes of the piston,  $a$ ,
- the amplitude of the oscillation of the piston  $s$ ,
- piston oscillation frequency  $n$ ,
- multiplicity of passage of emulsion through openings of the piston (multiplicity of processing),  $K$ .

Constructive:

- the diameter of the piston  $D_n$ ,
- crank radius  $r$ ,
- the number of holes in the piston  $N$ ;
- the diameter of the holes of the piston  $d_o$ ,
- piston thickness  $h_n$ ,
- the shape of the holes of the piston (speed factor  $\varphi$  and filing  $\mu$  orifice),
- the density of the piston material  $\rho_n$ .

Technological:

- milk supply (homogenizer performance)  $Q$ ,
- milk temperature  $t$ ,

Physico-chemical properties of milk:

- the average diameter of the fat globules of milk before homogenization,  $d_m$ ,
- density of milk  $\rho_m$ , plasma  $\rho_{pl}$ , milk fat  $\rho_f$ ,

- surface tension at the interface of the "fat-plasma" phases  $\sigma_{f-pl}$ ,

Optimization criteria:

- the average diameter of the fat globule after homogenization  $d$ ,
- power consumption  $P$ ,
- specific energy consumption,  $E_{spec}$ .

The mechanism of grinding of fat particles during pulsation homogenization is as follows [315]. Due to the oscillating movements of the piston, which moves at a variable speed  $v_n$  (Fig. 2), the dispersion medium captures the fat particle in motion and with this in mind the relative motion of the medium and particle is formed  $v_{ur}$ , which reaches maximum values when passing through the holes of the piston.

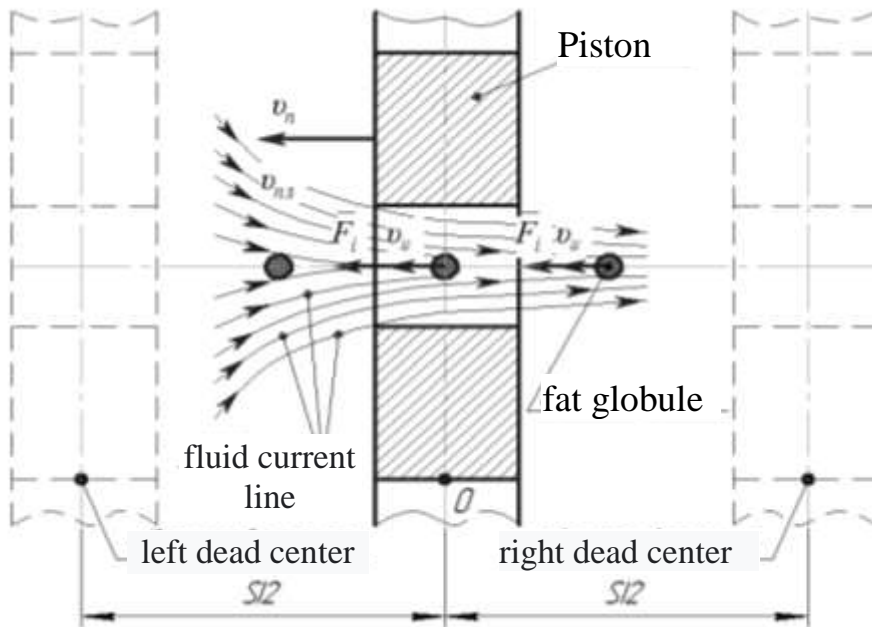


Figure 2. The scheme of movement of the piston and the fat globule during pulsation homogenization

The medium, moving relative to the surface of the fat globule, affects its surface due to several factors: hydrostatic pressure, tangential and normal stresses, forces of inertia and, probably, cavitation effects. The analysis of possible destructive forces is given in works [316, 317]. The forces of inertia have the most significant effect on the fat globule in the process of pulsation homogenization.  $F_i$ , because they contribute to the sliding speed of the fat globule as the difference in speed between the fat globule

and the surrounding plasma  $u = v_{pt} - v_{um}$ . The main factors of inertial forces are the frequency  $n$  and the amplitude  $s$  of the piston.

#### **4 Determination of the dispersion of the fat phase of milk in the process of pulsation homogenization under conditions of repeated processing**

##### **4.1. The mechanism of dispersion of the fat phase of milk during pulsation homogenization**

For PPH, one of the most important tasks is to determine the relationship of its structural and kinematic parameters with the intensity of the impact on the fat globule, which is estimated by the degree of homogenization or dispersed indicators of the emulsion after homogenization. Insufficient attention has been paid to the disclosure of this problem in studies of the homogenization process in pulsation devices [318, 319]. As a rule, the existing solutions are presented in the form of empirical equations and only for the case of using a two-piston homogenizer [308, 313, 320]. Therefore, the aim of our theoretical research is to build a mathematical model of the process of dispersing a fat emulsion of milk during pulsation homogenization in a classical apparatus with one piston [322].

In PPH, the process of dispersing the milk emulsion occurs in two stages:

- in the orifice and channels of the piston-drummer (by type of valve homogenization);
- at the exit of jets from the holes and the annular channel of the piston due to the formation of a velocity gradient (by type of jet homogenization).

Thus, for pulsation homogenization the theory of destruction by Weber's criterion is applicable,  $We$ , determining the ratio of hydrodynamic forces and surface tension forces of the dispersed phase fraction by expression [299, 323, 324, 325]

$$We = \frac{\rho_{ni} \cdot u^2 \cdot d}{\sigma}, \quad (4.1)$$

where  $\rho_c$  – the density of the environment,  $\text{kg/m}^3$ ;

$u$  – the relative velocity of the dispersed particle and the environment, m/s;

$d_k$  – particle diameter, m;

$\sigma$  – surface tension of the particle, N/m.

In PPH, the milk flow rate mainly depends on the amplitude and oscillation frequency of the piston. Only the determination of the dependence of the speed on the parameters of the pulsation homogenizer will allow to proceed to the determination of the efficiency of homogenization.

The emulsion displaced by the piston during its oscillating movements  $Q_n$ , passes through the holes of the piston  $Q_o$  (Fig. 3) [326].

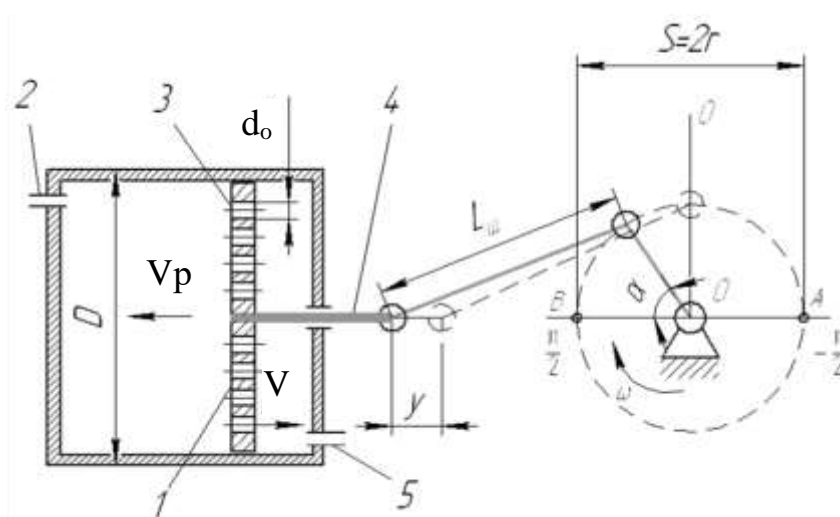


Figure 3. The design scheme of the PPH: 1 - piston; 2 - pipe for draining the emulsion; 3 - piston holes; 4 - adjustable crank; 5 - emulsion supply pipe.  $V_p$  – piston speed;  $V_h$  – the speed of the emulsion in the holes of the piston;  $d_o$  – diameter of holes;  $D_n$  – chamber diameter (piston);  $L_u$  – the length of the connecting rod;  $r$  – crank radius;  $\alpha$  – the angle of rotation of the crank.

Then based on the condition of continuity of flow:

$$Q_n(\tau) = Q_o(\tau), \quad (4.2)$$

where  $Q_o(\tau)$  – the flow of emulsion through the holes of the piston due to the vibration of the piston, m<sup>3</sup>/s;

$Q_n(\tau)$  – the volume of fluid displaced by the piston during its movements per



unit time,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\tau$  – the duration of the process, sec.

At a constant crank speed  $n = \text{const}$  the last equation can be represented as a function of the angle of rotation of the crank  $\alpha$

$$Q_n(\alpha) = Q_o(\alpha). \quad (4.3)$$

According to a known formula

$$Q_o(\alpha) = v_o(\alpha) \cdot F_o, \quad (4.4)$$

where  $v_o(\alpha)$  – the speed of the emulsion through the holes of the piston,  $\text{m/s}$ ;

$F_h$  – the area of the holes of the piston,  $\text{m}^2$ .

The area of the holes of the piston is equal to

$$F_o = N \frac{\pi d_o^2}{4}, \quad (4.5)$$

where  $N$  – the number of holes in the piston;

$d_o$  – hole diameter, m.

The consumption of the emulsion during the movement of the piston by the amount  $y$  at any time

$$Q_n(\tau) = v_n(\tau) \frac{\pi D_n^2}{4}, \quad (4.6)$$

where  $v_n(\tau) = dy / d\tau$  – the speed of the piston along the axis of rotation,  $\text{m/s}$ .

$D_n$  – the diameter of the piston, m.

For simple sinusoidal oscillations at  $r / L_{uu} \rightarrow 0$  (the length of the connecting rod of the crank mechanism  $L_{uu}$  much larger than the radius of the crank  $r$ ) can be recorded:

$$\frac{dy}{d\tau} = \pi n s \cdot \sin \alpha, \quad (4.7)$$

where  $s$  – the amplitude of the piston oscillations, m;

$n$  – crank speed (piston oscillation),  $\text{sec}^{-1}$ .

$$s = 2r. \quad (4.8)$$

Taking into account the equations (4.3–4.7), the condition of continuity of the

flow (4.2) is written in the form

$$2\pi rn \cdot \sin \alpha \frac{\pi D_n^2}{4} = v_o N \frac{\pi d_o^2}{4}. \quad (4.9)$$

Thus, the speed of movement of the emulsion through the holes of the piston, as a function of the angle of rotation of the crank, has the form

$$v_o = \frac{2\pi rn D_n^2}{N d_o^2} \sin \alpha. \quad (4.10)$$

The number of holes in the piston is related to the diameter of the piston and the diameter of the holes by the ratio that follows from the obvious geometric transformations

$$\frac{\pi D_n^2}{4} K_o = N \frac{\pi d_o^2}{4}. \quad (4.11)$$

or

$$K_o = \frac{N d_o^2}{D_n^2}, \quad (4.12)$$

where  $K_o$  – the coefficient of live cross-section of the piston holes

$$K_o = \frac{F_o}{F_n}, \quad (4.13)$$

where  $F_n$  – piston area,  $m^2$ .

Taking into account equation (4.13), the speed of the emulsion in the holes of the piston (4.10) is equal to

$$v_o = \frac{2\pi rn}{K_o} \sin \alpha. \quad (4.14)$$

Formula (4.14) does not take into account the influence of the shape of the holes of the piston (in the axial plane of the cross section of the hole). With this in mind, the flow rate exiting the piston holes will be equal

$$v_o = \varphi \frac{2\pi rn}{K_o} \sin \alpha. \quad (4.15)$$

where  $\varphi$  – speed factor.

Based on our formula (4.15), a graph of the emulsion velocity for crank radii of

5 and 15 mm and piston oscillation frequencies is constructed 3000–9000  $\text{min}^{-1}$ , which is presented in Fig. 4.

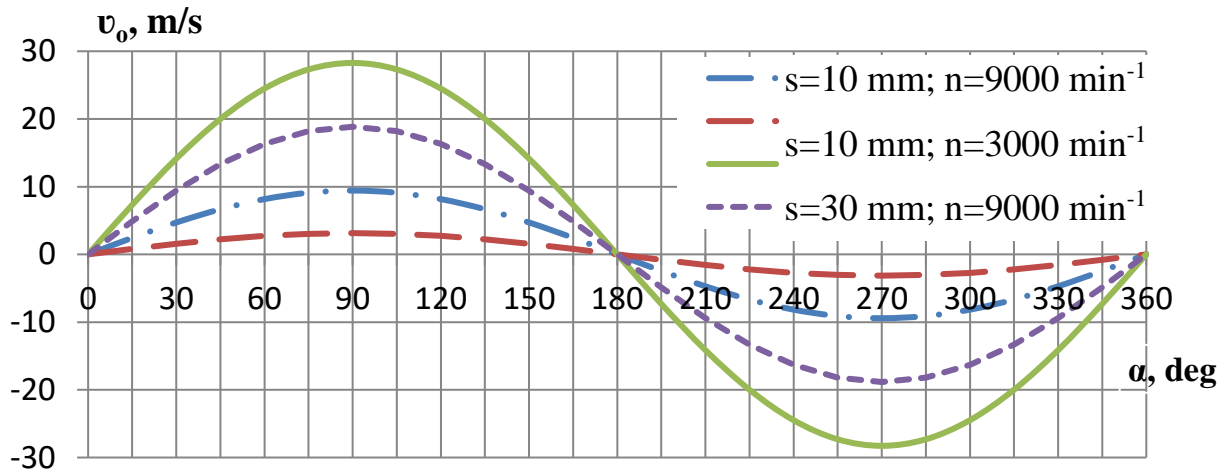


Figure 4. Graph of the dependence of the emulsion velocity  $v_o$  on the angle of rotation  $\alpha$  and the amplitude of oscillation of the piston  $s$  ( $K_o=0,5$ ,  $\varphi=0,94$ ).

The relationship between  $v_o$  and  $r$  and  $n$  is linear. The function takes the greatest value at the maximum radii of the crank and the frequency of oscillations at angles of rotation 90 and 270°.

According to Weber's criterion, the degree of dispersion of the fat phase is proportional to the sliding speed of the fat globule. The calculation of the sliding speed is a rather difficult task, so in [310, 323, 327] it is proposed to use the so-called modified Weber criterion  $We_m$ , in which the flow rate of the emulsion is used instead of the sliding speed. This approach leads to distortion of the physical content of the Weber criterion and to the loss of universality of the application of critical modified values of the criterion for different types of homogenizers [328]. A more universal (for most dispersant designs) and fairly simple method for calculating the sliding speed of a fat globule is to determine the acceleration of the emulsion flow. By differentiating over time, we find the instantaneous acceleration of the emulsion in the holes of the piston

$$a_m = \frac{dv_o}{d\tau} = \frac{d(2\pi r n \sin(\omega\tau))}{K_o d\tau} = \frac{2\pi r n}{K_o} \omega \cos \omega\tau = \frac{2\pi^2 n^2 s}{K_o} \cos \alpha. \quad (4.16)$$

Given the shape of the holes, the formula for accelerating the flow at the outlet of

the holes of the piston (4.34) takes the form

$$a_m = 4\pi^2 \varphi_m \frac{n^2 r}{K_o} \cos \alpha. \quad (4.17)$$

For the last equation, the graph of the acceleration of the emulsion is as follows (Fig. 5).

Acceleration of the emulsion in the holes of the piston has the greatest value at maximum  $r$  and  $n$  and more significantly increases with growth of  $n$  than  $r$ .

Thus, from the formula (4.17), the maximum conditions for grinding fat globules of milk are created when  $(n, r, \varphi_m) \rightarrow \max$  i  $K_o \rightarrow \min$ .

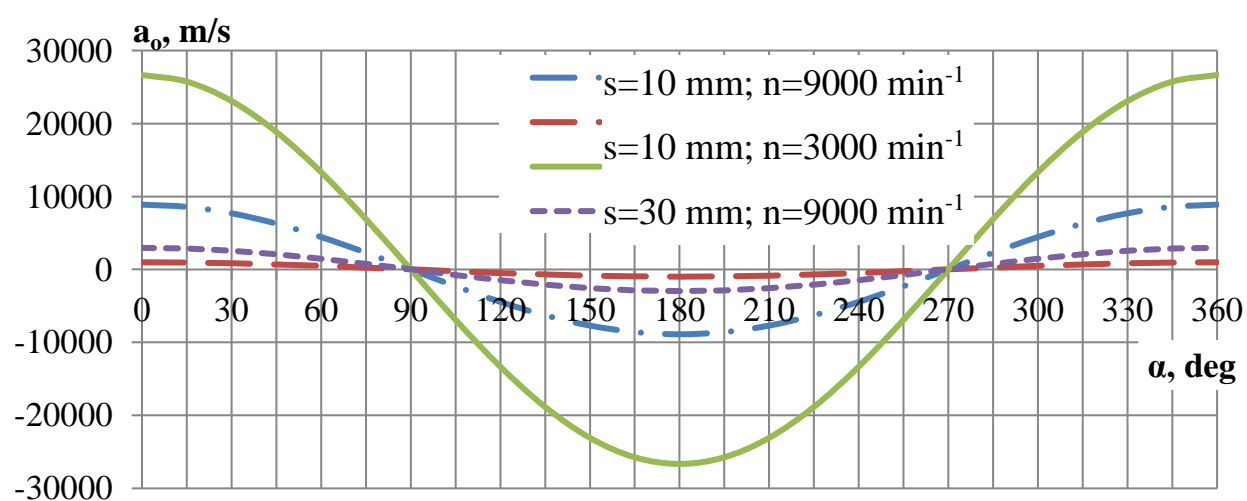


Figure 5. Graph of the acceleration of the emulsion  $a_m$  from the angle of rotation of the crank  $\alpha$  and the oscillation amplitude of the piston  $s$  ( $K_o=0,5$ ,  $\varphi_m=0,94$ ).

#### 4.2. Analytical determination of the influence of emulsion supply and processing frequency on pulsation homogenization parameters

An important indicator of the PPH process is the supply of emulsion  $Q$ ,  $m^3/s$ . This is an independent factor that affects both the quality and energy performance of the device [329]. As the supply increases, the specific energy consumption decreases  $E_{num}$  process

$$E_{num} = \frac{P}{Q\rho_m}, \quad (4.18)$$

where  $P$  – power required to carry out the homogenization process, W;

$\rho_m$  – density of milk, kg/m<sup>3</sup>.

However, when changing  $Q$  (with constant other parameters) changes the number of passes of milk emulsion through the holes of the piston – the frequency of processing  $K$ . The influence of structural and kinematic parameters of PPH on the value was analyzed  $K$  [330], for which a scheme was drawn up (Fig. 6). In the working chamber of the pulsating homogenizer with a diameter  $D$  an emulsion is passed through the holes of the piston, which oscillates with the amplitude  $s$  and frequency  $n$ .

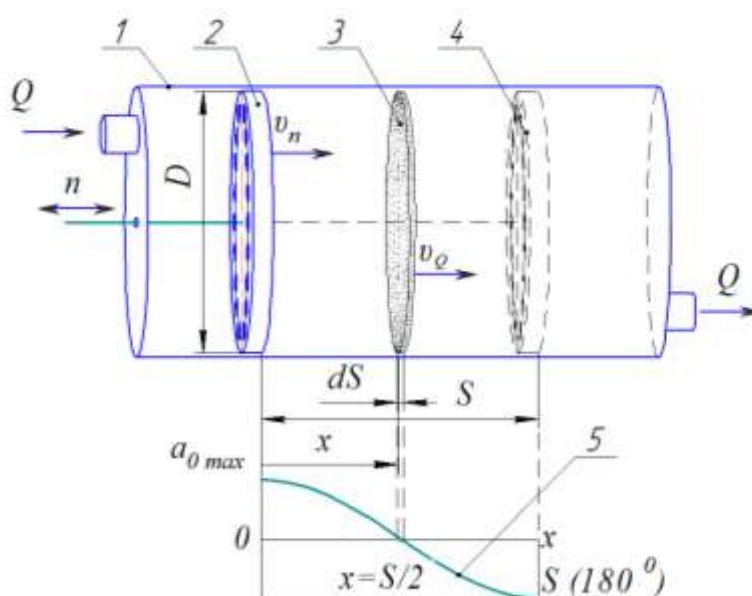


Figure 6. Scheme for determining the frequency of processing: 1 - tube; 2 - the piston; 3 - cylindrical layer of emulsion thickness  $dS$ ; 4 – extreme position of the piston; 5 – is a graph of the average acceleration of the emulsion in the holes of the piston  $a_0$  from the position of the piston (angle of rotation of the crank).

The processing frequency is determined by the ratio of the average velocities of the emulsion  $v_Q$  (assuming that the supply of the product is uniform and the speed of each element of the emulsion layer with a thickness  $dS$  the same) and the piston  $v_{nc}$ :

$$K = \frac{v_{nc}}{v_Q} \quad (4.19)$$

The average piston speed is equal to

$$v_{nc} = 2Sn. \quad (4.20)$$

The average emulsion flow rate was determined by the formula

$$v_Q = \frac{Q}{F_n} = \frac{4Q}{\pi D_n^2}. \quad (4.21)$$

Then the expression to find  $K$  from formula (4.19) taking into account (4.20) and (4.21) will have the form

$$K = \frac{\pi D_n^2 s n}{2Q}. \quad (4.22)$$

Analyzing the last equation, we can conclude that to increase the degree of homogenization (increase  $K$ ) it is necessary to reduce the supply of emulsion to the apparatus and increase the diameter of the piston (working chamber), the frequency and amplitude of the piston.

For the most studied - valve homogenization - the dependence of the homogenization efficiency on the multiplicity of processing is parabolic [299, 331, 332] (Fig. 7), and with increasing multiplicity of processing the rate of increase of homogenization efficiency decreases.

For pulsating homogenization, it is possible to predict a similar nature of the dependence  $i=f(K)$ .

Based on formulas (4.22) and (4.18)

$$K \propto E_{num}. \quad (4.23)$$

It is logical to assume that there is such an optimal value of multiplicity  $K_{onm}$  below which the efficiency of homogenization does not meet the quality requirements ( $i < 75\%$ ), and above which the rate of increase in specific energy consumption exceeds the rate of increase  $i$ . Hence the modes in which  $K > K_{onm}$ , are energy inefficient.

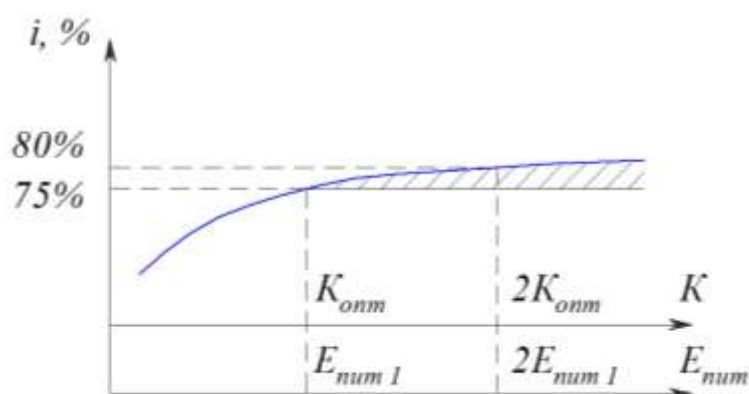


Figure 7. The nature of the dependence of the efficiency of homogenization on the frequency of processing  $K$  and specific energy consumption  $E_{num}$ .

The frequency of passage of the product through the holes of the piston determines the probable minimum acceleration  $a_{min}$  emulsions in the holes of the piston. At  $K \leq 1$  the emulsion passes once through the holes of the piston. Depending on the angle of rotation of the crank (distance from the dead center of the piston), the entrance of the emulsion to the holes of the piston can be in any position of the piston from 0 to  $180^\circ$  the angle of rotation of the crank (from 0 to  $S$  distance from the initial position of the piston) (Fig. 8).

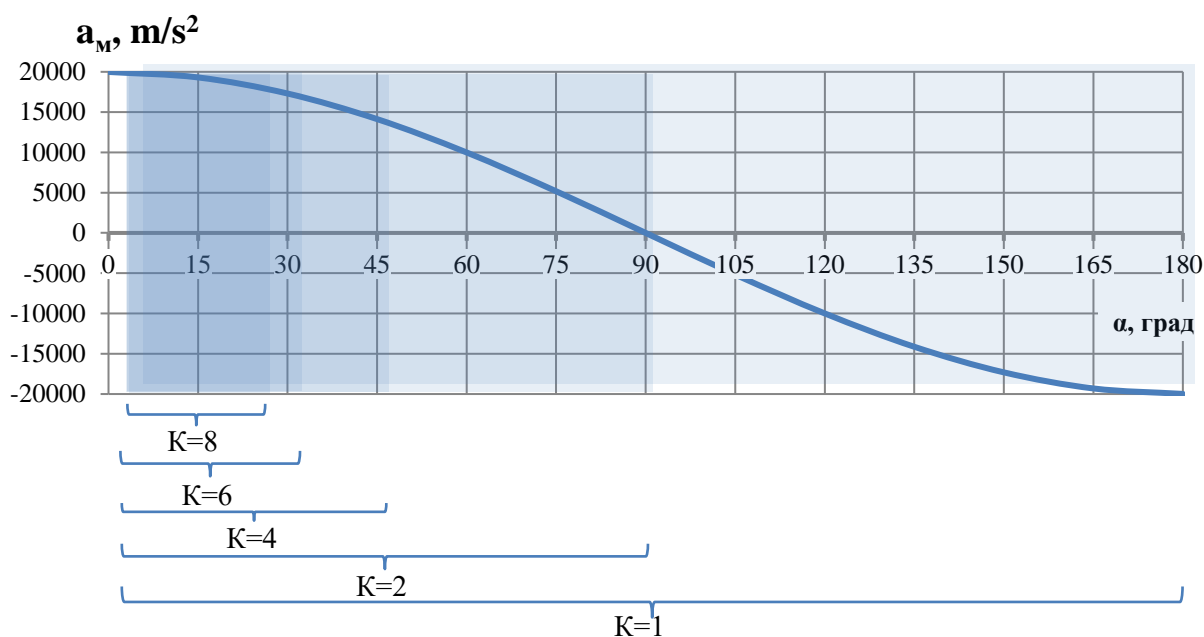


Figure 8. The dependence of the acceleration of the emulsion in the holes of the PPH piston  $a_m$  from the angle of the crank  $\alpha$  and multiplicity  $K$  ( $n=9000 \text{ min}^{-1}$ ;  $K_o=0,5$ ;  $s=22 \text{ mm}$ ).

Piston position  $x$  (Fig. 8) determines the value of the instantaneous acceleration of the emulsion (Fig. 5). At  $K \leq 1$  part of the emulsion that will pass through the holes of the piston at the angle of rotation of the crank  $90^\circ$  or  $270^\circ$ , will have acceleration  $a_m = 0$ . Dispersion of the fat phase in this volume will not occur and the emulsion after homogenization will contain part of the fat globules that are not crushed, and the product will be a non-uniform dispersed composition of the emulsion, which is unacceptable. Thus the worst conditions of homogenization will take place at  $K \leq 1$  and  $a_{min} = 0$ .

At  $K = 2$  the emulsion passes twice through the holes of the piston. There may be a case where the emulsion layer  $dS$ , which will pass through the holes of the piston at the angles of rotation of the crank  $90^\circ$  and  $270^\circ$ , will have acceleration  $a_m = 0$ .

At  $K = 4$  the worst conditions for the emulsion are created when it enters the holes of the piston when  $\alpha = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$  and  $315^\circ$ , the acceleration is equal to  $a_{0max} \cdot \cos 45^\circ = 0,71 a_{0max}$ . In the general case  $a_{min}$  determined from the formula

$$a_{min} = a_{0max} \cos \frac{180}{K}, \quad (4.24)$$

where  $a_{0max}$  – the maximum value of the instantaneous acceleration of the emulsion in the holes of the piston.

$$a_{0max} = 4\pi^2 \varphi_u \frac{n^2 r}{K_o}. \quad (4.25)$$

According to the requirements [333], not more than 15% of fat globules can be larger than the required average diameter. To do this, we determine the minimum instantaneous decrease in the acceleration of the emulsion in the holes of the piston during processing in PPH [331]

$$a_{0min} = 0,85^2 a_{0max}^c = 0,72 a_{0max}^c.$$

From the formula (4.24) we find the minimum multiplicity of processing in the PPH



$$K = \frac{180}{\arccos \frac{a_{min}}{a_{0max}}} \quad (4.26)$$

$$K = \frac{180}{\arccos 0,72} = 4,1.$$

Empirical formulas of the average acceleration of the emulsion in the valve slit were found in [331, 332]  $a_e$  from the maximum multiplicity of processing  $K_{max}$ , at which efficiency of homogenization reaches 90%:

$$a_e = (7,3693 - 0,6381 \cdot K_{max})10^6. \quad (4.27)$$

$$K_{max} = 11,56 - \frac{a_e}{0,6381}. \quad (4.28)$$

Using the data [299], we determine the dependence of the acceleration of the flow of the emulsion on the degree of increase in the efficiency of homogenization at multiplicity 4 and 1 for valve homogenization  $i$  (at  $K=4$ )/ and (at  $K=1$ ) to achieve the required technological requirements of homogenization efficiency  $i=75\%$  (Fig. 9).

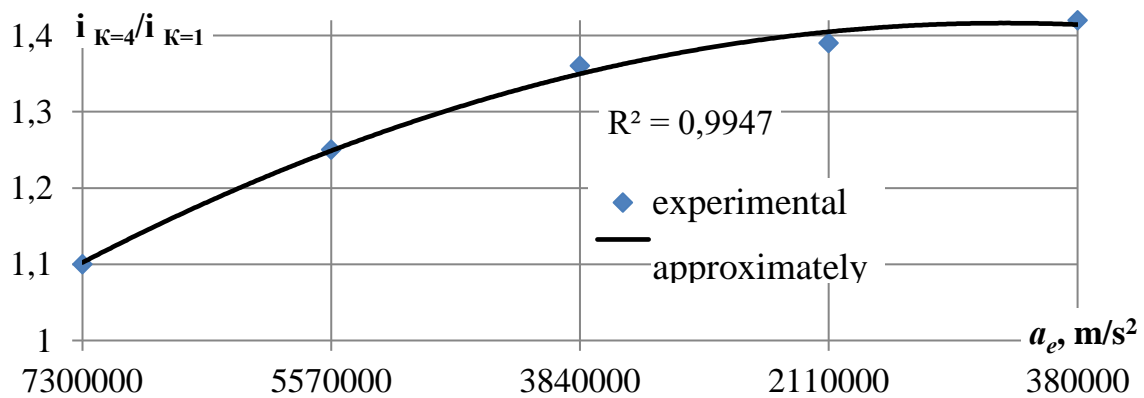


Figure 9. The dependence of the efficiency increase degree in the homogenization at multiplicity 4 and 1 for valve homogenization  $i$  (at  $K=4$ )/ and (at  $K=1$ ) from flow acceleration  $a_e$  emulsions.

Empirical equation (at  $7,6 \cdot 10^6 \leq a \leq 1,9 \cdot 10^6$ ) looks like

$$\frac{i_{K=4}}{i_{K=1}} = 1,9133 - 7,651 \cdot 10^{-15} a^2 - 1,2433 \cdot 10^{-7} a_e. \quad (4.29)$$

The actual frequency of processing of milk emulsion in PPH is in the range of 7-10 or more. Therefore, to obtain the dispersed composition of the emulsion in the

PPH of appropriate quality, based on the formula (4.22), the supply of the product should be determined from the expression

$$Q \leq \frac{\pi D_n^2 s n}{2K}. \quad (4.30)$$

The technical task for the design of the homogenizer usually regulates its performance. In this case, the required inner diameter of the chamber must be determined from the formula

$$D_n \geq \sqrt{\frac{2KQ}{\pi s n}}. \quad (4.31)$$

The obtained formula allows to calculate the minimum diameter of the PPH chamber, which at constant  $s$  and  $n$  provides the required multiplicity of processing.

### 4.3. Analytical determination of milk emulsion dispersion during pulsation homogenization

According to the results of our studies presented in section 4.1, a relationship was established between the acceleration of milk emulsion and the average diameter of the fat globule  $d_\kappa$

$$d_\kappa = \frac{K_h}{\sqrt{a_e}}, \quad (4.32)$$

where  $K_h$  – homogenization coefficient.

Homogenization coefficient  $K_h$  defined analytically for the conditions of valve homogenization in subsection 4.1 and takes into account its features, such as a single effect on the fat globule. The experimental pulsation homogenizer has a multiple effect on the emulsion, so the expected value  $K_h$  for pulsation homogenization will be less.

From formulas (4.17) and (4.32) it is possible to find the dependence connecting the average diameter of a fat globule of milk emulsion after homogenization with constructive and kinematic indicators of PPH

$$d_\kappa = \frac{K_h}{\pi n} \sqrt{\frac{K_o}{2\varphi_w s}}, \quad (4.33)$$

Analyzing the latter formula, we can conclude that increasing the dispersion of

the emulsion requires compliance with the conditions

$$\{K_o, K_h\} \rightarrow \min ; \{n, s, \varphi_w\} \rightarrow \max . \quad (4.34)$$

Given that the efficiency of homogenization (as the ratio of the degree of dispersion to the specific energy consumption of the process) increases with increasing frequency of oscillations of the piston, and given a range of values  $K_z$  it is possible to determine the minimum radius of the crank of PPH to start dispersing the fat phase of milk

$$s = \left( \frac{K_h}{d\pi n} \right)^2 \frac{K_o}{2\varphi_w} . \quad (4.35)$$

In modern conditions, the maximum speed of electric motors (without the use of uncommon and therefore expensive models) is usually  $n=9000$  rpm. It is planned to avoid the use of mechanisms to increase the speed of the working body (multipliers) to reduce the cost and metal content of the homogenizer.

Thus, according to the last formula when  $K_h=100$ ,  $K_o=0,4$ ,  $\varphi_w=0,98$  and  $n=150 \text{ sec}^{-1}$  the start of homogenization ( $d_k=2,5 \text{ }\mu\text{m}$ ) occurs when  $s=1,4 \text{ mm}$ , and the required degree of dispersion ( $d_k=0,8\text{--}1,2 \text{ }\mu\text{m}$ ) achieved when  $s=6,5\text{--}14,5 \text{ mm}$ .

As the amplitude of the piston oscillation (crank radius) and the oscillation frequency increase, the dispersion of the fat phase of milk increases (Fig. 10).

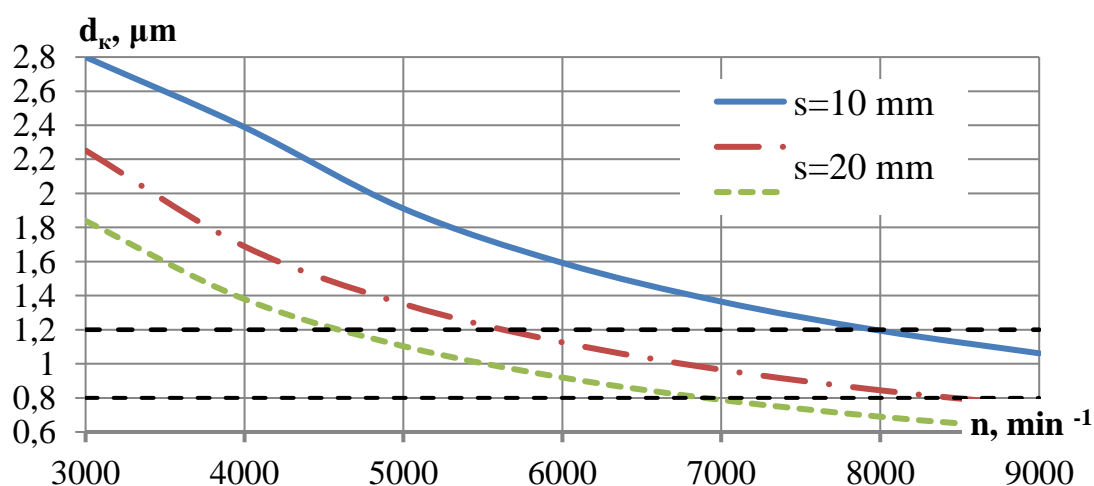


Figure 10. The dependence of the average diameter of fat globules  $d$  on the amplitude  $s$  and the oscillation frequency of the piston  $n$  (when  $K_h=100$ ,  $K_o=0,4$ ,  $\varphi_w=0,98$ ).

To achieve an average size of fat globules, an emulsion of  $0,8 \text{ }\mu\text{m}$  must be

provided  $n = 7600\text{--}9000 \text{ min}^{-1}$  and  $s = 14\text{--}20 \text{ mm}$ .

With increasing  $n$  the diameter of the fat globules decreases more significantly than with increasing  $r$ . The optimal range of dispersion of milk emulsion after homogenization in Fig. 10 is shown by dashed lines.

In pulsation homogenization, multiple processing is used, in which the efficiency of homogenization is increased. Reduction of the homogenization coefficient at  $K=4,1$  (4.33) can be calculated as

$$\frac{K_h}{K_{hmax}} = \sqrt{\frac{a_e}{a_{max}}}, \quad (4.36)$$

Or the degree of reduction in the size of fat globules  $d_\kappa / d_{max}$

$$\frac{d_\kappa}{d_{max}} = \frac{K_h}{K_{hmax}} = \sqrt{\frac{a_e}{a_{max}}}, \quad (4.37)$$

$$\frac{d_\kappa}{d_{max}} = \frac{K_h}{K_{hmax}} = \sqrt{0,72} = 0,85.$$

Thus, with four passes of milk through the holes of the piston, the required acceleration of the emulsion can be reduced by 15%. Or when using acceleration corresponding to a single treatment, the average size of fat globules in a quadruple treatment is reduced by 15% compared to a single treatment.

## Conclusions

1. As a result of analytical studies, the dependences linking the acceleration of the milk emulsion, the sliding speed of the fat globule (its speed relative to the surrounding plasma), the average diameter of the fat globule after hydrodynamic dispersion and Weber's criterion were found. The obtained analytical model is based on determining the acceleration of the emulsion – a parameter that is easy to determine for any type of homogenizer, which can become a universal – unifying factor of destruction of fat particles of emulsions for most types of homogenizers (valve, jet, pulse, rotor and centrifugal mixers).

2. The mathematical model of dispersing the fat phase of milk has been built in a pulsating homogenizer with one piston and a pulsating apparatus with a vibrating

rotor, which is based on determining the acceleration of the emulsion flow. The obtained model connects the main structural and kinematic, mode, technological and energy indicators of pulsating rotor and piston devices with the dispersion of milk fat emulsion.

3. The analytical relationship has been obtained between the multiplicity of processing; supplying the product to the PPH; frequency and amplitude of oscillations; diameter, thickness and characteristics of the piston material; the diameter, shape and number of holes of the piston and the acceleration of the emulsion and the average size of fat globules of milk after homogenization. It has been established that in PPH at the value of the homogenization coefficient 100 it is possible to obtain a milk emulsion with an average dispersion of 0.8  $\mu\text{m}$  at an amplitude of oscillation of the piston of 6–10 mm and an oscillation frequency of 7600–9000  $\text{min}^{-1}$ . A rational value of the multiplicity of passage of the emulsion through the holes of the piston has been obtained, provided that sufficient dispersion of the dispersed composition of the emulsion and minimization of energy consumption are reached, which is 4-10. The degree of reduction of acceleration required for dispersion of milk emulsion with increase of multiplicity of processing has been calculated.

## 8.6 Thermal conductivity measuring devices based on thermal bridge circuits

Many research and technology areas now need thermophysical measurements. Reliable data on thermophysical properties of materials are essential for a number of priority areas. These are associated with energy saving in constructing various-use objects, energy consumption cutting in heat generation, transfer and saving, and reducing environmental pollution caused by generation of heat for domestic and industrial purposes, space industry development, designing radio-electronic devices (rejection of heat from powerful radiating and radio elements), development of new modern materials, etc.

Thermal modes of various devices used in the above-listed areas of research and technology are strictly regulated and calculated based on the experimental data on thermophysical properties both for construction materials and for working substances. Regrettably, the low effectiveness and considerable complexity of the methods and tools used nowadays significantly complicate such studies.

Full-scale production of thermal conductivity devices has not been launched in Ukraine, although the solutions have been developed by the Department of Thermal Measurements of the Institute of Engineering Thermophysics (NAS of Ukraine) and other research institutions [334, 335]. However, the proposed devices have some drawbacks. They are geared to study thermophysical properties of specifically sized specimen, are mostly used for measurements within a narrow range of thermal conductivity values, etc.

Therefore, the array of topical research problems to be solved in the area of thermophysical measurements includes the development of new methodological approaches that will make it possible to make high-accuracy measurements across a wide range of thermal conductivity values, and, as a result, of new thermophysical devices, more advanced as compared to the existing ones.

In the known solutions for thermophysical devices, the measurement accuracy was enhanced by improving the measurement techniques, manufacturing technologies and design of the existing devices [335, 336]. Thereat, their insensitivity to non-

informative parameters was achieved by the design and engineering methods of parametric stabilization that are implementable using assemblies and higher quality elements with better stability (guarding heaters, an intricate system of heat shields, top-accuracy thermal couple with reduced-diameter electrodes, etc.). However, these solutions result in far more expensive and more complicated devices without a significant improvement of the accuracy of thermophysical measurements.

The authors came up with new methodological approaches to the development of thermophysical devices allowing high-accuracy measurements across a wide range of thermal conductivity values. The proposed approaches rely on the principle of invariance, which ensures the compensation of the effect of various non-informative parameters on the measurement result [337]. The idea is that in a measuring device, in addition to the measuring circuit (channel), a comparative circuit (channel) is created that is not fed with an input signal, but which, similarly to the measuring channel, is under the effect of some external factors – perturbations, i.e. non-informative parameters. The parameters of the comparative channel are to be selected in such a way so that a change of its signal effected by perturbations is identical to the change of measuring channel signal under the effect of these same perturbations, i.e. perturbations enter the measuring device through both channels simultaneously. Using the difference in signals between the measuring channel and comparative channel provides for the independence (invariance) of the resulting signal from the perturbations, meaning that the method ensures the elimination of additional errors caused by the effect of these perturbations (non-informative parameters) on the measurement result.

The double-channel principle is especially efficiently implemented in bridge measuring circuits, based on which thermal conductivity measuring devices will be designed. This said, we can formulate the underlying principles of the design of thermometric bridge circuits (TBC):

- the measuring circuit comprises two parallel thermal circuits;
- identical temperature differentials are created at their ends;

- each thermal circuit includes thermal resistances with known values, and at least one of them comprises the thermal resistance the value of which is to be determined.

For calculating the developed TBC (balanced, unbalanced and partially balanced), the theory of thermal circuits was applied. Heat exchange problems in a system of objects are solved assuming that this system is a thermal circuit. Using the analogy between electricity transfer and heat transfer, the theory of electrical circuits is applied [338].

Each measuring device has a certain specific task and is designed in accordance with the specific measuring circuitry. Selection of a measuring device design relies on a number of factors, including the measurement range, required accuracy and maximum possible design simplicity.

The methods that we proposed spare the need to measure absolute values of heat fluxes. The sought-for value is evaluated based on the temperature differentials in different sections of the thermal circuit, which is why they were termed thermometric.

For determining the thermal conductivity coefficient for gas or liquid layers, the unbalanced bridge method was used [339]. In this method, two thermal circuits are created between the heat source and heat sink; one is made of the test specimen and reference specimen, the other of the reference specimen and test specimen. The temperature differential between the contact areas of the specimen is measured, and the thermal conductivity coefficient of the test specimen is calculated. The schematic diagram of the device implementing the unbalanced TBC is presented in Fig. 1.

As a basis for developing the device for measuring the thermal conductivity of construction and heat-insulating materials, a partially balanced TBC with in-series connection of the test and reference specimen was used [340]. The diagram of thermal resistances connection in such a design is presented in Fig. 2.



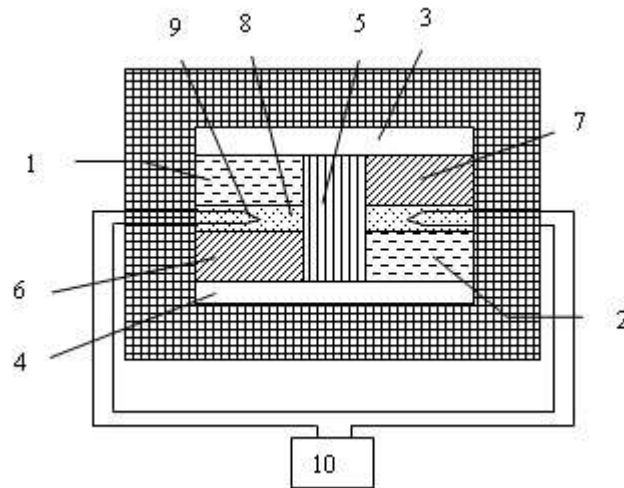


Fig. 1. The schematic diagram of the device for measuring the thermal conductivity of materials based on the unbalanced thermometric bridge circuit: 1, 2- test medium; 3- heater; 4- cooler; 5- heat-insulating layer; 6, 7- reference specimen; 8- partition; 9- temperature sensors; 10- secondary device.

It is proposed that the thermally conductive element should be implemented in the form of  $N$  parallel thermally conductive elements, each of them having one junction of a differential thermal couple mounted into it, which by turns switch to this thermal couple junction located between the test and reference specimen.

Each thermally conductive element provides a certain point of balance:

$$\text{the first } \left( \frac{R_x}{R_e} \right)_1 = \frac{R_{K1} + R_{11} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{21} + R_{K2}} = a_1,$$

$$\text{the second } \left( \frac{R_x}{R_e} \right)_2 = \frac{R_{K1} + R_{12} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{22} + R_{K2}} = a_2,$$

$$\text{the } (N-1) \text{ - th } \left( \frac{R_x}{R_e} \right)_{N-1} = \frac{R_{K1} + R_{1(N-1)} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{2(N-1)} + R_{K2}} = a_{N-1},$$

$$\text{the } N \text{ - th } \left( \frac{R_x}{R_e} \right)_N = \frac{R_{K1} + R_{1N} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{2N} + R_{K2}} = a_N. \quad (1)$$

By denoting the measurement range that is ensured by the measurement device

as  $\frac{R_{x\max}}{R_{x\min}} = \frac{a_1}{a_N} = D$ , the ratio  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{a_2}{a_3} = \dots = \frac{a_{N-1}}{a_N} = d$  can be written as:

$$d^N = D, \quad (2)$$

where  $N$  is the number of thermally conductive elements.

Therefrom, the required number of thermally conductive elements can be found:

$$N = \lg D / \lg d . \tag{3}$$

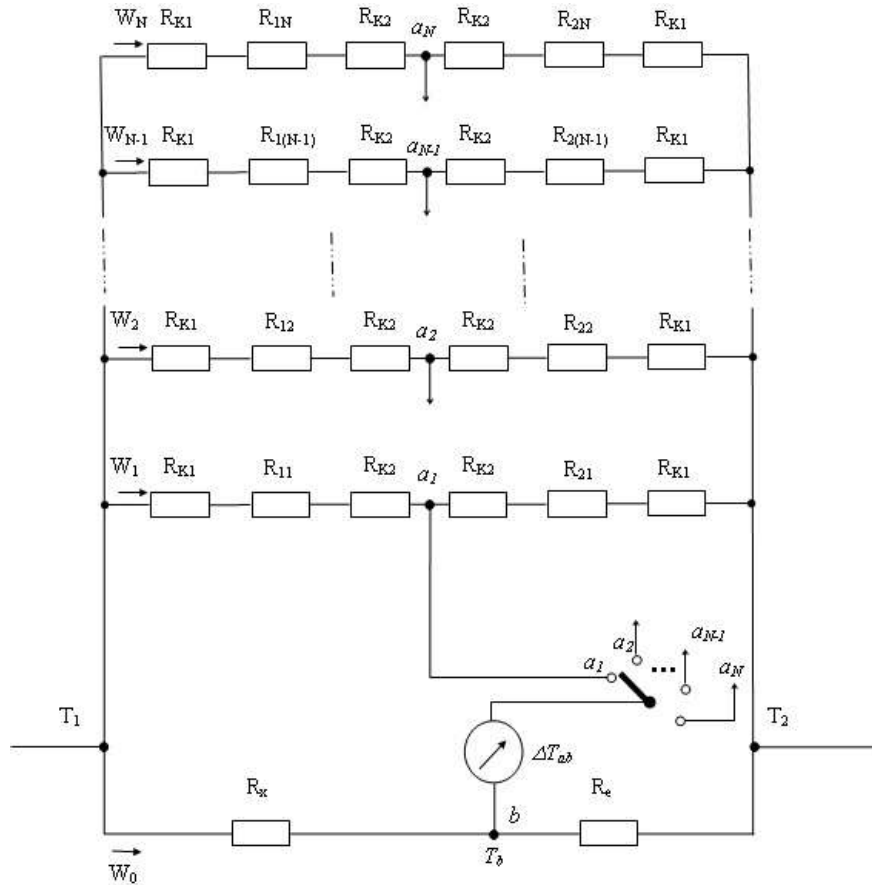


Fig. 2. The diagram of thermal resistances connection and distribution of heat fluxes and temperatures in the developed TBC, where  $\Delta T_{12} = T_1 - T_2$  is the temperature differential between the heat source and heat sink;  $\Delta T_{a\delta} = T_a - T_\delta$  is the temperature differential in the measuring diagonal;  $R_x$ ,  $R_e$ , are thermal resistances of the test and reference specimen, respectively;  $R_{K1}$ ,  $R_{K2}$  are contact thermal resistances at the ends of the thermally conductive elements and at the point of the temperature sensors mounting, respectively;  $R_{11}$ ,  $R_{12}, \dots, R_{1N}$  are thermal resistances of the parts of the thermally conductive materials adjacent to the heat source;  $R_{21}$ ,  $R_{22}, \dots, R_{2N}$  are thermal resistances of the parts of the thermally conductive materials adjacent to the heat sink,  $W_0, W_1, W_2, \dots, W_N$  are heat fluxes in different branches of the bridge circuit.

Based on this TBC, the device for measuring the thermal conductivity of construction and heat-insulating materials across the range 0.03 - 1W/(m·K) was developed.

The schematic diagram of the developed device is shown in Fig. 3.

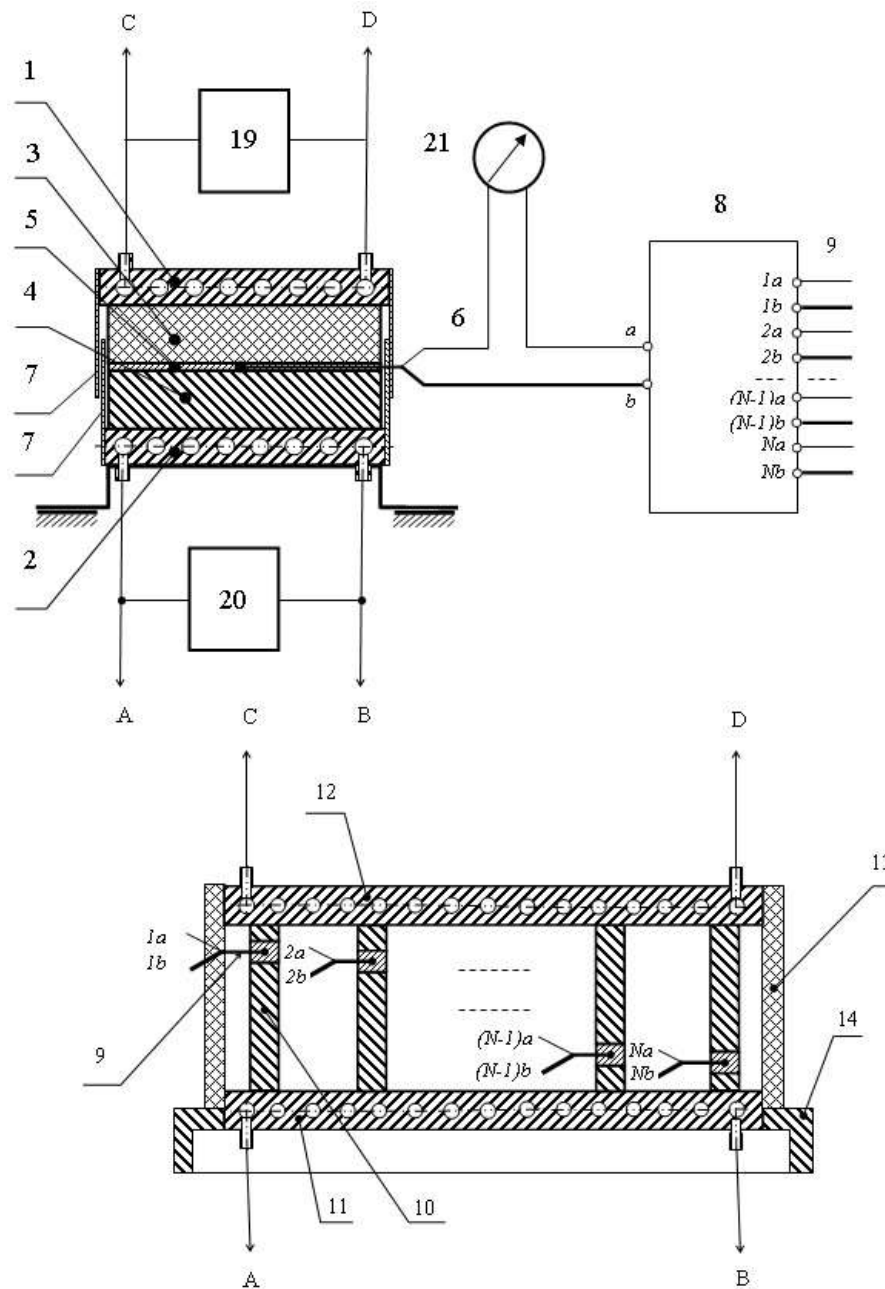


Fig. 3. The schematic diagram of the device for measuring the thermal conductivity of construction and heat-insulating materials across the range 0.03 - 1 W/(m·K): 1 – heat source; 2 - heat sink; 3 – test specimen; 4 – reference specimen; 5 – temperature-equalizing plate; 6 – differential thermal couple; 7 – protective plates; 8 – switch of the differential thermal couple junctions; 9 - differential thermal couple junctions; 10 – thermal resistances of the thermally conductive element; 11 - heat sink; 12 - heat source; 13 - heat-insulating casing; 14 - cabinet; 15, 16 - thermostats; 17 – null indicator.

The heat fluxes in the thermal circuits are defined by the heat source 1. Between

the heat source 1 and heat sink 2 there are the test specimen 3 and reference specimen 4 divided by a temperature-equalizing plate 5, with a junction of the differential thermal couple 6 mounted into it. The lateral surfaces of the specimen are protected from heat exchange with the environment by protective plates 7. Between the heat source 12 and heat sink 11, there are thermally conductive elements. The lateral surface of the thermally conductive elements is protected from heat exchange with the environment by the heat-insulating casing 13. Into the thermally conductive elements, the second junction of the differential thermal couple 9 is mounted. The parts of the thermally conductive cell are fixed by the cabinet 14. The temperatures of the heat source 1 and 12, and heat sinks 2 and 11 are set and maintained using the liquid thermostats 15 and 16, respectively. Equality to zero of the signal of the differential thermal couple 6 is controlled using the null indicator 17.

The heat sources and heat sinks are made as flow chambers with the circulating heat carriers at the temperatures set by the corresponding thermostats.

The measurements are made according to the following procedure. The thermostats 15 and 16 are switched on to ensure the heat carriers circulation in the respective chambers. The test specimen 3 is mounted on the temperature-equalizing plate 5 and pressed down by the heat source 1.

Using the switch of the differential thermal couple junctions 8 and switches of the thermal couples of the thermally conductive elements 9, the junctions of the differential thermal couple 6 are by turns switched to the null indicator 17. This is done until the minimum temperature differential between the test specimen 3/reference specimen 4 contact area and the point at the axis of a thermally conductive element is determined. Thereat, using the measured temperature differential and thermally conductive element number, and calibration characteristics, the thermal conductivity coefficient is calculated.

Besides, we also developed a number of balanced TBC and devices on their basis, correspondingly.

For measuring the thermal conductivity of high thermal conductive plates and sheet materials in the range up to 400 W/(m·K) and higher, the balanced thermometric

bridge circuit was proposed and based on it, the device was constructed [341] with balanced heat fluxes flowing through the reference specimen.

The thermometric bridge circuit based on which such a device is built is shown in Fig. 4.

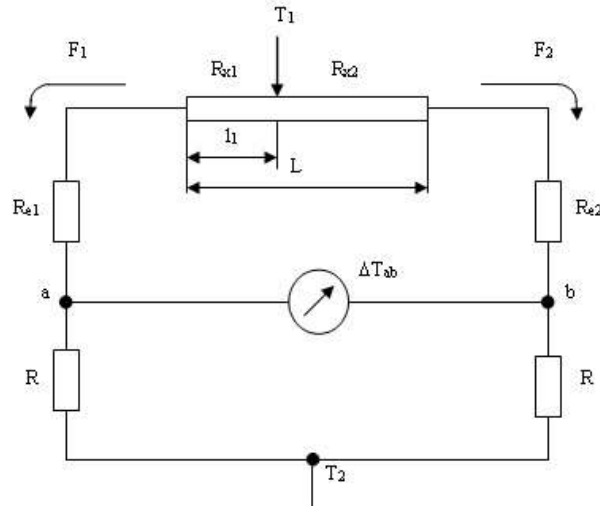


Fig. 4. The diagram of thermal resistances connection and distribution of heat fluxes and temperatures in the balanced thermometric bridge circuit with balanced heat fluxes flowing through the reference specimen.

For this circuit, the following system of equations can be written:

$$\begin{cases} F_1 = \frac{T_1 - T_a}{R_{x1} + R_{e1}} = \frac{T_a - T_2}{R}; \\ F_2 = \frac{T_1 - T_b}{R_{x2} + R_{e2}} = \frac{T_b - T_2}{R}; \end{cases} \quad (4)$$

where  $T_1$  is the temperature of the heat source;  $T_2$  is the temperature of the heat sink;  $T_a, T_b$  are the temperatures in the measuring diagonal;  $R_{x1}, R_{x2}$  are thermal resistances of the test specimen parts;  $R_{e1}, R_{e2}$  are thermal resistances of the first and second reference specimen, respectively;  $R$  is the thermal resistance of the thermometric elements.

The condition of the equality of the heat fluxes ( $F_1 = F_2$ ) flowing through the reference specimen is achieved by the influence of the heat flux on the limited zone of the test specimen and transfer of the location (delivery) of this flux influence onto the test specimen. Taking into consideration that the thermometric elements are identical and satisfying the condition of the equality of the heat fluxes flowing through the different thermally conductive circuits, we obtain  $\Delta T_{ab} = T_a - T_b = 0$ . From the system of

equations (4), considering the above conditions  $F_1=F_2$  and  $\Delta T_{ab}=0$ , the equation of balance is written as:

$$R_{x1} + R_{e1} = R_{x2} + R_{e2} \quad (5)$$

Therefrom, by expressing the values of the thermal resistances of the thermometric circuit elements through their geometric dimensions and thermal conductivity, we obtain the formula for calculating the thermal conductivity coefficient for the test specimen:

$$\lambda_x = \frac{L - 2l_1}{S_x \left( \frac{l_{e1}}{\lambda_{e1} \cdot S_{e1}} - \frac{l_{e2}}{\lambda_{e2} \cdot S_{e2}} \right)}, \quad (6)$$

where  $\lambda_x, \lambda_{e1}, \lambda_{e2}$  are the thermal conductivity coefficients of the test specimen and the first and second reference specimen, respectively;  $L$  is the distance between the reference specimen;  $l_1$  is the distance from the middle of the location of the heat influence to one of the reference specimen;  $l_{e1}, l_{e2}$  are the thicknesses of the first and second reference specimen, respectively;  $S_x, S_{e1}, S_{e2}$  are the cross sectional areas of the test specimen and the first and second reference specimen, respectively.

As a result of the simple transformations, we obtain

$$\lambda_x = A - B \cdot l_1 \quad (7)$$

where  $A$  and  $B$  are the constants of the device, which are determined by calibration, and

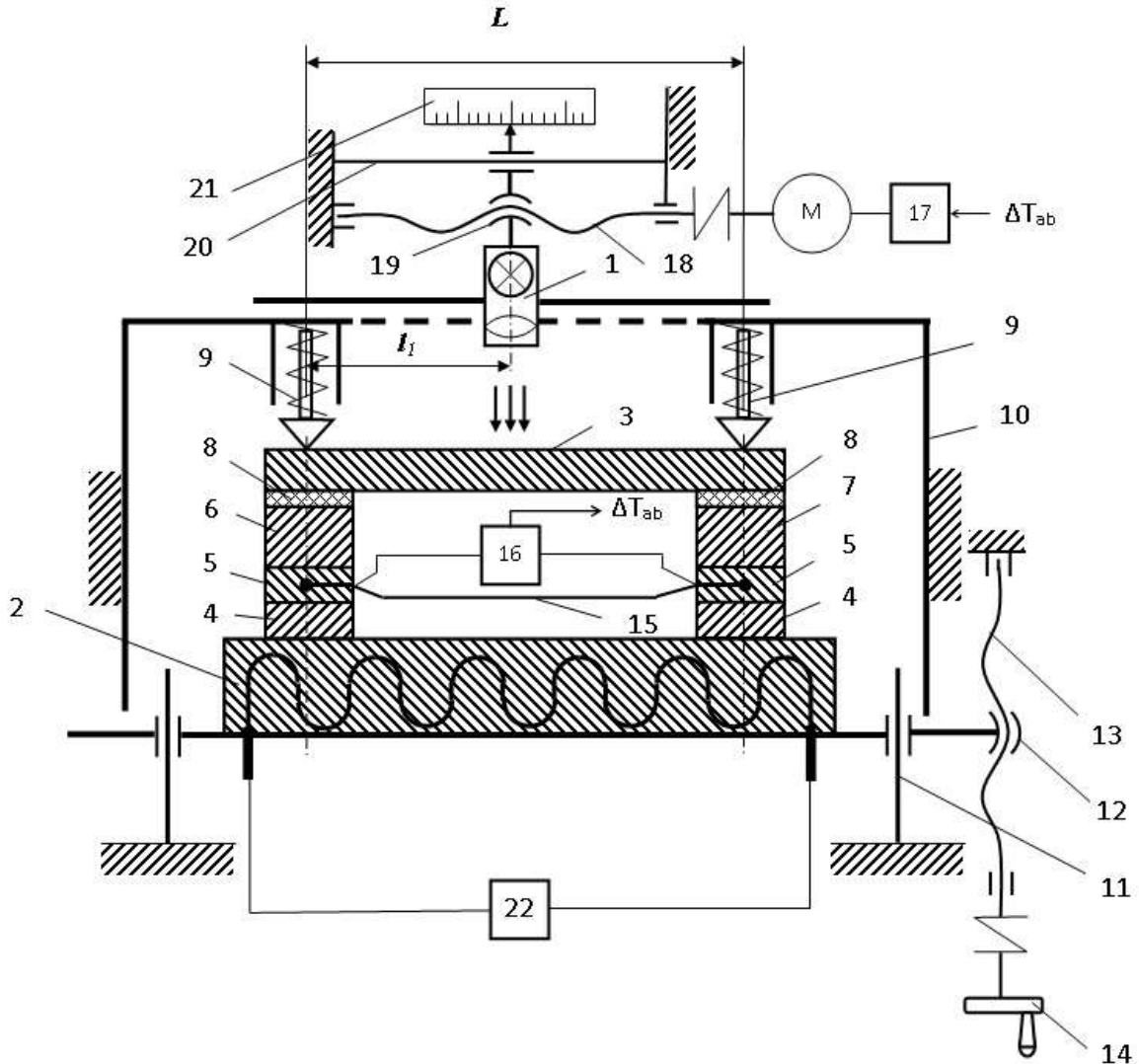
$$A = \frac{L}{S_x \left( \frac{l_{e1}}{\lambda_{e1} \cdot S_{e1}} - \frac{l_{e2}}{\lambda_{e2} \cdot S_{e2}} \right)}, \quad B = \frac{2}{S_x \left( \frac{l_{e1}}{\lambda_{e1} \cdot S_{e1}} - \frac{l_{e2}}{\lambda_{e2} \cdot S_{e2}} \right)}$$

The schematic diagram of the device for measuring the thermal conductivity of high thermal conductive sheet materials is shown in Fig. 5.

The heat source 1 forms a narrow stream of infrared rays targeting the surface of the test plate 3, which contacts the surfaces of the two specimen packages. The specimen packages are fixed on the surface of the heat sink 2. They consist of the thermometric elements 4, temperature-equalizing plates 5, reference specimen 6 and 7 with different thermal resistances and contact elements 8 made of high thermal conductive rubber. The test plate 3 is pressed against the packages by spring fixture 9

fixed on the cabinet 10 by moving the heat sink 2 along the guides 11 with the nut 12 and screw 13, which is rotated by the handle 14.

Fig. 5. The schematic diagram for measuring the thermal conductivity of sheet materials: 1 – heat source; 2 – heat sink; 3 – test plate; 4 – thermometric elements; 5 –



temperature-equalizing plates; 6, 7 – reference specimen; 8 – contact elements; 9 – fixtures; 10 – cabinet; 11 – guides; 12 – nut; 13 – screw; 14 – handle; 15 – differential thermal couple; 16 – amplifier; 17 – control unit; 18 – screw; 19 – nut; 20 – guide; 21 – indicator; 22 – thermostat.

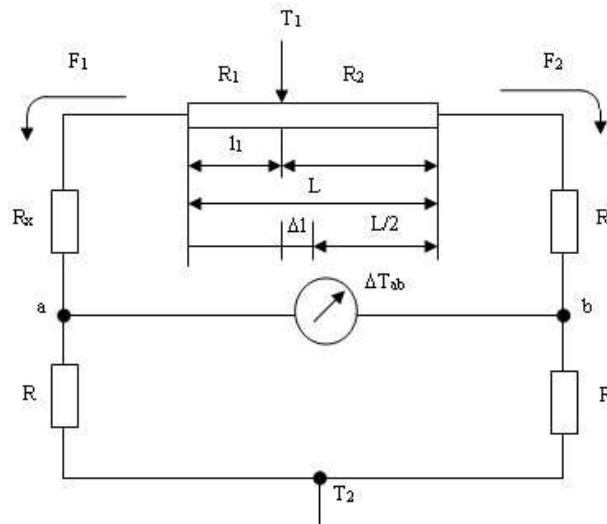
In the temperature-equalizing plates 5 there are junctions of the differential thermal couple 15 connected to the amplifier 16, the signal  $\Delta T_{ab}$  from which is fed onto the control unit 17, which regulated the operation of the motor  $\mathcal{M}$ . The motor drives the screw 18, which changes the position of the nut 19 along the guide 20 and thereby the position of the heat source 1  $l_1$  until the signal of the differential thermal couple  $\Delta T_{ab}$

reaches zero. Then the measurement result is displayed on the indicator 21. The temperature of the heat sink 2 is set using the thermostat 22.

The method was proposed and on its basis, the device was built for measuring the thermal conductivity of high thermal conductive materials for cylinder-shaped test specimen in the range up to 400 W/m·K and higher [342].

The thermometric bridge circuit that is the basis for the design of this device is shown in Fig. 6.

Fig. 6. The diagram of thermal resistances connection and distribution of heat fluxes and temperatures in the balanced thermometric bridge circuit with balanced heat fluxes flowing through the test and reference specimen



For the balance of the thermometric circuit ( $\Delta T_{ab}=0$ ):

$$R_x + R_1 = R_e + R_2 \quad (8)$$

Therefrom, we obtain the formula for calculating the thermal conductivity coefficient of the test specimen:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{S_x \left( \frac{l_e}{\lambda_e S_e} - \frac{l_1 - l_2}{\lambda_T S_T} \right)} = \frac{l_x}{S_x \left( \frac{l_e}{\lambda_e S_e} - \frac{2 \cdot \Delta l}{\lambda_T S_T} \right)} \quad (9)$$

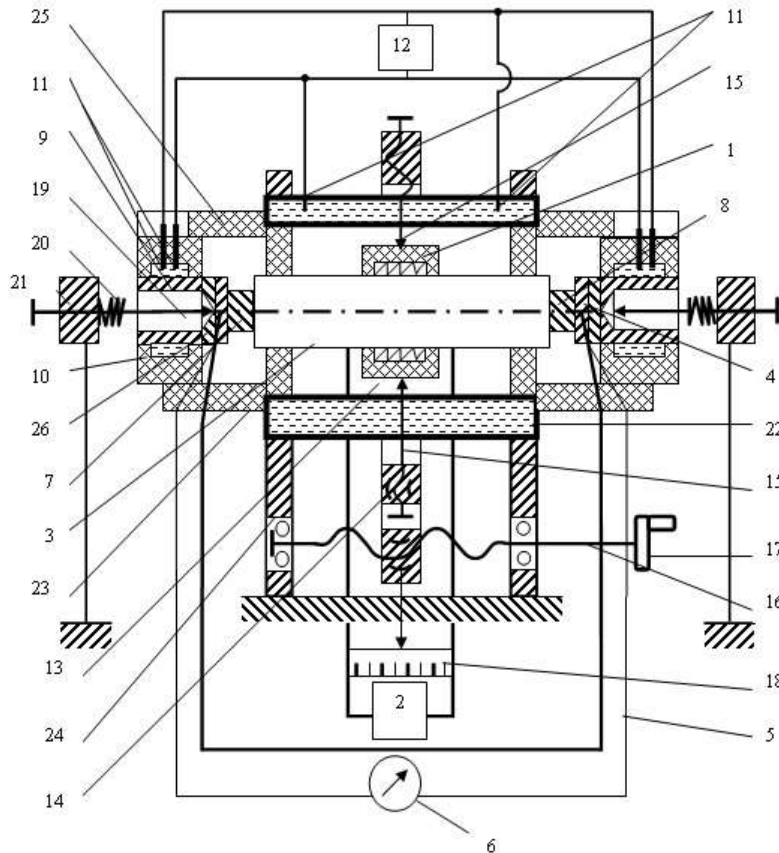
where  $\lambda_x$ ,  $\lambda_e$ ,  $\lambda_T$  are the thermal conductivity coefficients of the test specimen, reference specimen and thermally conductive element, respectively;  $l_x$ ,  $l_e$  are the thicknesses of the test and reference specimen, respectively;  $l_1$  is the distance from the location of the heat flux influence to the test specimen;  $l_2$  is the distance from the location of the heat flux influence to the reference specimen;  $S_x$ ,  $S_e$ ,  $S_T$  are the cross-



sectional areas of the test specimen, reference specimen and thermally conductive element, respectively.

The schematic diagram of this device is presented in Fig. 7.

Fig. 7. The schematic diagram for measuring the thermal conductivity of high thermal conductive materials for prism-shaped test specimen: 1 – electric heater; 2 – power supply; 3 – thermally conductive element; 4 – temperature-equalizing plates; 5 – differential thermal couple; 6 – null indicator; 7 – test specimen; 8 – reference specimen; 9 – copper units; 10 - chambers; 11- joining pipes; 12 – liquid thermostat;



13 – heater cabinet; 14 - slide; 15 - stoppers; 16 - screw; 17 - handle; 18 - indicator; 19 - rods; 20 - springs; 21 - plates; 22 - casing; 23 – heat-insulating inserts; 24 - bearing supports; 25 – heat-insulating shields; 26 – thermometric elements

The heat fluxes in the thermally conductive circuits of the device are set by the electric heater 1 located on the thermally conductive element 3 with an option of its moving along its axis. The faces of the thermally conductive element 3 adjoin the test specimen 7 and reference specimen 8, which are pressed against them by the heat sinks, rods 19, springs 20 and plates 21. The heat sinks are made as copper units 9, which are

flown over by the liquid from the thermostat 12 circulating in the chambers 10. On top of the copper units there are glued the thermometric elements 26 with identical thermal resistances and copper temperature-equalizing plates 4 with the junctions of the differential thermal couple 5 connected to the null indicator 6.

The electric heater 1 on the thermally conductive element 3 is covered by the cabinet 13. It is moved by the handle 17, which drives the slide 14 with the help of the stoppers 15.

The casing 22 ensures maintaining the temperature of the medium surrounding the thermally conductive element 3 at the level of the temperature of the heat sinks. It is made as a chamber of copper in which the heat carrier from the thermostat circulates. The thermally conductive element 3 is aligned with respect to the casing 22 by the heat-insulating inserts 23. In its turn, the casing 22 is fixed in the bearing supports 24. While making measurements, in order to reduce heat loss through the lateral surfaces of the test specimen 7 and reference specimen 8, they are covered by the heat-insulating shields 25, mobile with respect to the chambers 10. A deviation  $\Delta l$  of the heat source with respect to the middle of the thermally conductive element is displayed on the indicator 18.

Therefore, designing devices based on thermal bridge circuits makes it possible to improve significantly the accuracy of measuring thermal conductivity of materials by reducing the errors of measuring the absolute values of the temperature and their differentials, heat fluxes flowing through the specimen, influence of the heat source and heat sink temperatures and other non-informative parameters on the measurement result. This in turn enables measurements across a wide range of thermal conductivity values, and, due to the simplified measurement circuitry, ensures a significantly better reliability and lower cost of the devices in which these circuits are implemented.

## 8.7 nD Ноон-модели коммутационных паттернов на элементах Березовского

Научно-исследовательская деятельность – это творческая активность разработчика, детерминированная триадой «цель-средства-результат», определяющей развитие технологий в обществе, в том числе профессионально-коммуникативных.

Одна из ближайших перспектив науки - разработка новой технологии интерактивно-графического взаимодействия человека и его образных механизмов творческого мышления уже не просто с ЭВМ, а непосредственно с самой исследуемой проблемой. Успехи разработок Hard и Software позволяют активизировать процесс создания Brainware - совокупности интеллектуальных алгоритмических средств, представляющих фактическую основу всей методологии современного математического моделирования и вычислительного эксперимента с единым информационным языковым пространством.

Предлагаемые фирмами поставщикам строительные компоненты – это программно определяемые коммутационные структуры, системы и сети *SDSS*. *SDSS* – это все же файловые 2D компонентные структуры, которые и сегодня доминируют в технике.

Топология базировались на использовании простейших механизмов интеграции отдельных компонентов, и была ограничена уровнем развития технологий, применением элементарных 2D моделей, базировавшихся на интерфейсе минимального взаимодействия пользователя с ЭВМ [344]. Это во многом и определяло возможности проектировщиков *SDSS*.

Стремление к точности инженерных расчетов приводит к тому, что исследования сосредотачиваются на тех и только тех проблемах, которые поддаются точному описанию и решению.

Потребность разработчиков и потребителей в обладании оперативной информацией о структуре, составе, состоянии коммутационных элементов (КЭ) предопределило заимствование из психологии и философии известного понятия абстрактного образа – модели для представления некоего стереотипа восприятия.

Реально возникает необходимость использования физических разработок КЭ различных производителей, и в случае, где физические свойства КЭ оказываются не важны, предпочтительно использовать интеллектуальные методы представления знаний для описания функций модели как единое решение – фреймовую модель.

Моделирование новых 3D топологий реконфигурируемых коммутационных структур (КС), разработка и исследование образующих их объектов и параллельно создание новых клиаративно-когнитивных моделей реальных физических сущностей этих объектов (КЭ) дает возможность формирования на их основе системных онтологий для изучения, контроля функционирования и взаимодействия с другими КС, а также проектирование новых, слабо структурированных интеллектуально-эвристических топологий коммутационных структур для систем гибридного и искусственного интеллекта с возможностью включения непосредственно проектировщика в эти процессы для оперативной корректировки принятых решений.

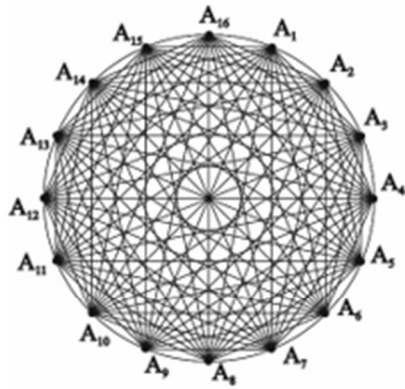
Физической реализацией КЭ является запатентованный полнодоступный коммутационный элемент Березовского (SEB-1) [343] без встроенного программного обеспечения, но с программной загружаемой средой, обеспечивающей установку совместимых операционных систем на базе открытой операционной системы для реконфигурируемых коммутационных структур, коммутирующих М-разрядные двоичные, аналоговые вектора.

SEB-1 является полнодоступным коммутационным элементом и разработан в стиле 4D абстрагирования/разделения плоскостей для так называемых «clean-slate» архитектур и включает четыре плоскости: плоскость данных, плоскость управления, плоскость обнаружения/исключения отказавших изделий, плоскость встроенного теста.

Применение *SEB-1* в архитектуре позволит осуществить централизованное управление: разъединение функции контроля и передачи, точное конфигурирование, устранение неполадок в условиях сложных и рутинных задач

управления *SDSS*, а также реализация более эффективных функций безопасности, тем самым – повысить живучесть.

Оригинальность синтезированного схемного решения выражается в особенности полученных характеристических уравнениях, описывающих возможные коммутационные состояния (на Рис.1):



$$A_1 = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4; \quad (1.1)$$

$$A_2 = \bar{X}_5 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_5 \bar{X}_6; \quad (1.2)$$

$$A_3 = \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_6 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_5; \quad (1.3)$$

$$A_4 = \bar{X}_6 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_5; \quad (1.4)$$

$$A_5 = \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_5 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_6; \quad (1.5)$$

$$A_6 = \bar{X}_1 \vee \bar{X}_2; \quad (1.6)$$

$$A_7 = \bar{X}_3 \vee \bar{X}_4; \quad (1.7)$$

Рисунок 1. Граф полнодоступного коммутационного элемента *SEB-1*

$$A_8 = /\bar{X}_1 \vee \bar{X}_2 // \bar{X}_3 \vee \bar{X}_4 / = \bar{X}_1 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_4 \vee \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_2 \bar{X}_4; \quad (1.8)$$

$$A_9 = \bar{X}_2 \bar{X}_5 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_6; \quad (1.9)$$

$$|A_{10} = \bar{X}_3 \bar{X}_6 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_4 \bar{X}_5; \quad (1.10)$$

$$A_{11} = \bar{X}_1 \bar{X}_6 \vee \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_5; \quad (1.11)$$

$$A_{12} = \bar{X}_4 \bar{X}_5 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_6; \quad (1.12)$$

$$A_{13} = \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_5 \bar{X}_6 \vee \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_5 \bar{X}_6; \quad (1.13)$$

$$A_{14} = \bar{X}_5 \bar{X}_6 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4 \bar{X}_5 \bar{X}_6; \quad (1.14)$$

$$A_{15} = \bar{X}_1 \bar{X}_3 \bar{X}_6 \vee \bar{X}_2 \bar{X}_4 \bar{X}_5; \quad (1.15)$$

$$A_{16} = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 \cdot \quad (1.16)$$

где  $\bar{X}_i = 1, X_i = 0$ .

Введем термин: "коммутационный фреймворк" на коммутационных элементах Березовского (*SEB-1*)  $B^\#$

$$B^\#\{[A_{ij}], [SEB_1]\} \quad (1.17)$$

В качестве 2D ахроматической модели *SEB-1*- условного графического представления / картины / обозначения, предлагается использовать геометрическую модель – прямоугольник, представленный с помощью алгебраических линий первого порядка (Рис.1). 2D модель *SEB-1* (без представления электрической схемы) включает 4 клеммы «вход-выход», представленные атрибутом – алгебраической линией второго порядка.

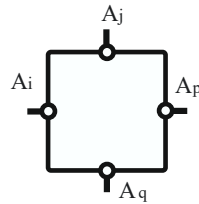
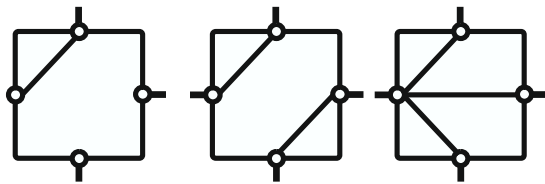


Рисунок 2. 2D графическая модель *SEB-1*.

$$\underline{B}^{\#}\{[A_{ij}], [SEB_1(f \bar{\square}, \acute{f})]\} \quad (1.18)$$

Коммутационные состояния фреймворка  $\underline{B}^{\#}$  задаются характеристическими уравнениями  $A_j$  и отражаются в модели с помощью алгебраических линий первого порядка между клеммами «вход-выход» (Рис.3).  
 Дескрипционная семиотическая модель коммутационного фреймворка на *SEB-1*



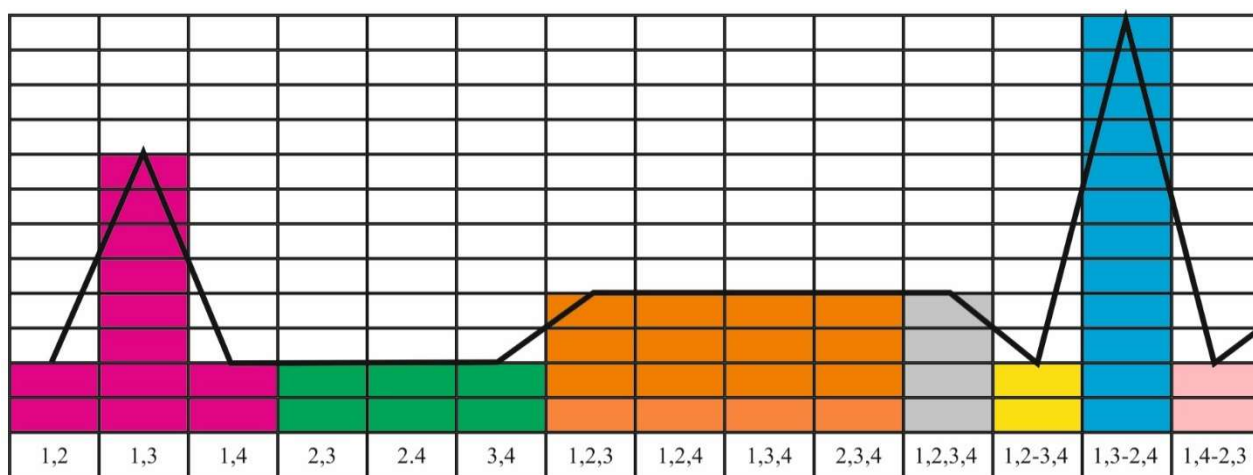
$$\underline{B}^{\#}\{[A_{ij}], [SEB_1(f \bar{\square}, \acute{f}, \acute{f})]\} \quad (1.19)$$

Рисунок 3. 2D графическая модель *SEB-1* с представлением коммутационного состояния.

Характеристические уравнения  $A_j$  *SEB-1* представлены в дизъюнктивно-когнитивной форме: одно и тоже состояние *SEB-1* может быть задано по-разному, что предоставляет широкие возможности в применении и управлении *SEB-1*.

Анализ показал, что у *SEB-1* имеет место более равномерное распределение повторяющихся соединений, чем у аналогов, что позволяет отметить эффективность *SEB-1* и его повышенную надежность/живучесть (Рис.4).

При отказе одного из переключающего изделий  $S_i$  ( $i=\overline{1,6}$ ) или обрыве одной из шин управления (переключающего изделий  $S_i$ ) в *SEB-1* [343] необходимо в дизъюнкциях характеристических уравнений исключить выражение, содержащее компоненту  $X_i$  и управление *SEB-1* производить в соответствии с видоизмененными характеристическим уравнениям. *SEB-1* в этом случае будет выполнять 100 % базовых коммутационных соединений [344].


 Рисунок 4. Гистограмма распределения коммутационных состояний *SEB-1*.

Автором впервые вводится в семиотическую модель *SEB-1* информация о техническом состоянии переключающих изделий  $S_i$  *SEB-1* и перекодировке/изменению набора компонентов характеристических уравнений  $A_j$ .

$$\underline{B}^{\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overline{A_{gf}}^{ky} \right), \left( \underset{u}{S_i} \right)], [SEB_1(f \boxminus, \mathcal{f}, \mathcal{f}, \mathcal{f})] \right\} \quad (1.20)$$

Перечень концептов дескрипционной логики, используемых для представления моделей *SEB-1* представлен в табл.1.

Табл.1

Таблица концептов дескрипционной логики.

№	Концепт	Описание
1	$\mathcal{f}$	модель <i>SEB-1</i> представлена алгебраическими линиями первого порядка
2	$\mathcal{f}$	модель <i>SEB-1</i> представлена алгебраическими линиями второго порядка
3	$\mathcal{f}$	фигура представления клемм “вход-выход” – круг абрис и его атрибут цвета
4	$\mathcal{f}$	алгебраическая линия представления коммутационного состояния <i>SEB-1</i> и её атрибуты цвета
5	$\mathcal{f}$	алгебраическая линия представления фигуры модели – прямоугольник, ромб и её атрибуты цвета
6	$\mathcal{f}$	фигура представления клемм “вход-выход” – цвет окрашена и её цвет

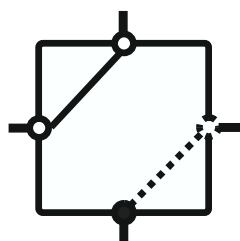
Таблица концептов дескрипционной логики.

7		алгебраическая линия представления клемм «вход-выход» – цвет штриховая линия (dashed line) и непрерывная линия (baseline) для представления информации о техническом состоянии переключающих изделий $S_i$ <i>SEB-1</i>
8		фигура модели – прямоугольник не окрашенной
9		фигура модели – прямоугольник окрашенной и его цвет
10		фигура модели – ромб, не окрашенной
11		фигура модели – ромб окрашенной и его цвет
12		фигура модели – круг/эллипс, не окрашенной
13		фигура модели – круг/эллипс окрашенной и его цвет
14		встроен контрольный тест “ последовательная 1 “ плоскости данных
15		Процедура плоскости управления <i>SEB-1</i> «импульс тока”, процедура снижения помех переключения
16		Метрика <i>SEB-1</i>
17		встроен контрольный тест – “ выбран 0 “ плоскости управления
18		встроен контрольный тест – “ выбрана 1 “ плоскости управления
19		Уровень защиты
20	$\Rightarrow$	информационная шина плоскости управления <i>SEB-1</i> (по числу переключающих изделий $S_i$ )
21	$\rightarrow$	информационная одноразрядная шина плоскости управления <i>SEB-1</i>
22		Технология проводная
23		Технология opto
24		Технология <i>Wi Fi</i>
25		Технология <i>Li Fi</i>
26		<i>SEB-1</i> ориентация вертикаль
27		<i>SEB-1</i> ориентация горизонталь
28	$A_{ij}$	Базовые характеристические уравнения фреймворка <i>SEB-1</i>
29	$\overbrace{A_{gf}}^{ky}$	Обновленные/откорректированные характеристические уравнения фреймворка <i>SEB-1</i> с учетом $S_i$
30	$\underbrace{S_i}_u$	Информация о техническом состоянии переключающих изделий $S_i$ фреймворка <i>SEB-1</i>

В графической 2D модели информация о техническом состоянии переключающих изделий  $S_i$  *SEB-1* отражается путем представления соответствующей клеммы «вход-выход» с помощью штриховая линия (dashed



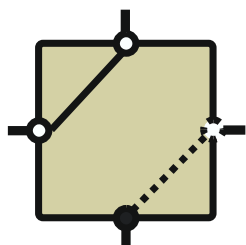
line). Клемма, к которой подключено отказавшее изделие  $S_i$ , например,  $A_q$  представлена в графической модели (Рис. 5), а соответствующая информация представляется в семиотической модели новым атрибутом:



$$\underline{B\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overline{A_{gf}^{ky}} \right), \left( S_i^u \right)], [SEB_1 (f_{\square}, \mathcal{f}, \mathcal{f}, \mathcal{f}_{db}^{bb}, \mathcal{f})] \right\} \quad (1.21)$$

Рисунок 5. 2D графическая модель  $SEB-1$  с дополнительной информацией о техническом состоянии переключающих изделий  $S_i$ .

Кроме того, возможность выбора управляющего слова  $A_k$ , являющегося дизъюнкцией нескольких конъюнкций  $X_i$  ( $i = \overline{1,6}$ ), позволяет оптимизировать количество переключений коммутирующих изделий, добиваясь минимального числа переключений, минуя команду "Сброс", при переводе  $SEB-1$  из одного состояния в другое и тем самым снизить величину "импульса тока", потребляемого изделиями и уровень коммутационных помех переключения коммутирующих изделий (Рис.6) [345].



$$\underline{B\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overline{A_{gf}^{ky}} \right), \left( S_i^u \right)], [SEB_1 (f_{\square}, \mathcal{f}, \mathcal{f}, \mathcal{f})] \right\} \quad (1.22)$$

Рисунок 6. 2D графическая модель  $SEB-1$  с дополнительной информацией об оптимизации "импульса тока".

Управляющие коды-слова, сформированные пользователем, накапливаются во внешней памяти управляющей плоскости  $SEB-1$ , например, в стеке с числом регистров:

$$R_i, \quad i = \overline{1, N-1} \quad (1.23)$$

В  $SEB-1$  предусмотрена реализация 2-х алгоритмов работы программного управления:

последовательный

$$\underline{B}^{\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overbrace{A_{gf}}^{ky} \right), \left( \underset{u}{S_i} \right)], [SEB_1(f \underline{\square}, \underline{\int}, \underline{\int}, \underline{\int}, \underline{\int})][\mapsto] \right\} \quad (1.24)$$

и параллельный.

$$\underline{B}^{\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overbrace{A_{gf}}^{ky} \right), \left( \underset{u}{S_i} \right)], [SEB_1(f \underline{\square}, \underline{\int}, \underline{\int}, \underline{\int}, \underline{\int})][\Rightarrow] \right\} \quad (1.25)$$

При параллельном вводе информации в универсальный регистр число информационных линий связи в плоскости управления *SEB-1* равно 6 (по числу *i* используемых коммутирующих изделий), а при последовательном вводе – 1.

При вариации разрядности вводимого управляющего кода/слова, обеспечивая чередование априорной последовательности коммутационных состояний, удобно осуществление встроенных контрольных тестов [346].

$$\underline{B}^{\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overbrace{A_{gf}}^{ky} \right), \left( \underset{u}{S_i} \right)], [SEB_1(f \underline{\square}, \underline{\int}, \underline{\int}, \underline{\int}, \underline{\int})][\Rightarrow][\not\Leftarrow][\not\Leftarrow] \right\} \quad (1.26)$$

В системе гибридного интеллекта перцептивная способность обработки визуальной информации (зрительных данных) человеком/оператором позволяет изменять количественно-качественные составляющие посредством сознательной фильтрации, т.е. зрительного анализатора.

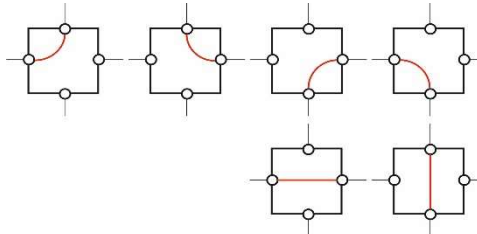
Самым главным критерием эффективности, достоверности и наглядности в процессе моделирования с использованием моделей коммутационного фреймворка на *SEB-1* является скорость оценки и принятия адекватного решения.

Для подчеркивания/акцентирования и детализации информации предлагается использовать полихромную – многоцветность в моделях *SEB-1*.

Для формирования полихромных фреймовых моделей на *SEB-1* воспользуемся колористикой и рядом профессиональных графических цветовых моделей особых типов красок: *CMY*, *CMYK*, *CMYK256*, *RGB*, *HSB*, *HEX* и др.

Введем новое графическое представление базовых коммутационных состояний *SEB-1* в хроматической 2D графической фреймовой модели *SEB-1* с помощью алгебраических линий первого и второго порядков между клеммами «вход-выход» (Рис.7).

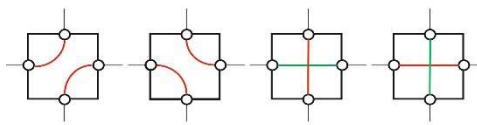
В нашем случае хроматическая 2D графическая фреймовая модель SEB-1 может быть:



- в цветном без указания используемой  $B_{N2}^{\#}(C)$  цветовой модели красок

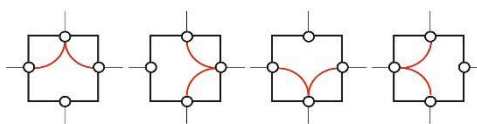
$$\underline{B}^{\#}(C) \quad (1.27)$$

- в цветном  $B_{N2}^{\#}(RGB)$  с указанием цветовой модели красок, например,



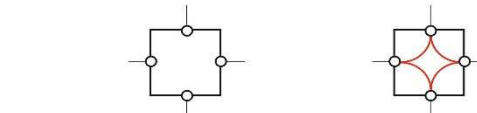
$$\underline{B}^{\#}(RGB) \quad (1.28)$$

- с указанием значений цветов, например,



$$\underline{B}^{\#}(218.112.214) \quad (1.29)$$

или, например,



$$\underline{B}^{\#}(HEX) \quad (1.30)$$

Рисунок 7. 2D фреймовые полихромные модели состояний SEB-1.

Кроме того, во фреймовой модели есть возможность указывать информацию о технологии построения КС, в которой используется SEB-1 (Табл.1):

$$\underline{B}^{\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overbrace{A_{gf}}^{ky} \right), \left( \underset{u}{S_i} \right)], [SEB_1(f \bar{\square}, \hat{f}, \hat{f}, \hat{f}, \hat{f})][\Rightarrow][\hat{f}][\hat{f}][\triangle, \triangle, \triangle] \right\} \quad (1.31)$$

В семиотической модели SEB-1 клемма «вход-выход» обозначена атрибутом – замкнутой линией второго порядка, представляющей информацию о техническом состоянии образующих коммутационный фрейм элементов с помощью штриховой линии (*dashed line*) и непрерывной линией (*baseline*).

$$\underline{B}^{\#} \left\{ [A_{ij}, \left( \overbrace{A_{gf}}^{ky} \right), \left( \underset{u}{S_i} \right)], [SEB_1(f \bar{\square}, \hat{f}, \hat{f}, \hat{f}, \hat{f})][\Rightarrow][\hat{f}][\hat{f}][\triangle, \triangle, \triangle] \right\} \quad (1.31)$$

Коммутационный фрейм SEB-1 представляется (в соответствии с ГОСТом) в ахромном, черно-белом варианте:

$$- \underline{B}^{\#}(B/W), \quad (1.33)$$



Таблица цветов субстрактивной цветовой модели *СМΥΚ SEB-1*.

СМΥΚ	SEB-1										
v1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
C	90	9	50	0	82	0	0	0	82	0	0
M	74	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	63	95	0	0	87	0	0	0	87	0	0
K	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Оцифрованная семиотическая субстрактивная цветовая *СМΥΚ* модель SEB-1 представлена в виде:

$$\underline{B}^{\#} \left\{ \left[ (A_{11}, A_{31}), \left( \overset{ky}{\vec{\emptyset}} \right), \left( \underset{u}{\emptyset} \right) \right] \left[ SEB_1 \left( \begin{array}{cccccc} 15 & 50 & 90 & 82 & 15 & 15 & 8 & 8 \\ 14 & 98 & 74 & 27 & 0 & 14 & 14 & 100 & 100 \\ 19 & 0 & 63 & 2 & 87 & 19 & 19 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 92 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right) \right. \right. \\
 \left. \left. \begin{array}{cc} 1190 & 9 \\ 5008 & 2000 \\ 0074 & 0 \\ 980 & 0 \\ 0063 & 95 \\ 0 & 087 \\ 0092 & 0 \\ 0 & 000 \end{array} \right) \right] [\Rightarrow] [\mathfrak{f}] [\mathfrak{f}] [\Delta, \Delta, \Delta] [\mathbf{2}] \left[ \begin{array}{c} 82 \\ \mathfrak{f} 0 \\ 87 \\ 0 \end{array} \right] \right\} \quad (1.35)$$

В прикладном аспекте цвет дает возможность выделения – отображения каналов связи; коммутационных топологических плоскостей – слоев; выделения *SEB-1*, входящих в состав определенных каналов связи, отображения коммутационного состояния *SEB-1*; технического состояния *SEB-1*; *SEB-1* используемые в составе перекрестных, объединительных связей и ряд других возможностей.

В современных комплексах, обслуживающих человека/оператора в гибридных системах важной характеристикой средств визуализации является разрешение изображения (в пикселях) в цифровой форме и разрядность цветовой палитры для обеспечения более точного представления графических образов/картин на экранах мониторов. Особенность такой технологии в том, что пиксели изображения отображаются пикселями экрана один к одному. Это обеспечивает простоту вывода изображения на экран.

Используемая в мониторах аддитивная *RGB* цветовая модель предоставляет возможность избирательного воздействия на отдельные цвета в изображении,

усиления цветового контраста в расширенном (по отношению с *СМУК*) множестве цветового охвата.

Семиотическая модель *SEB-1* (1.36) графической (Рис.8) аддитивной *RGB* цветовой модели представлена в общем виде:

$$\underline{B}^{\#} \left\{ \left[ (A_{ij}), \left( \overset{ky}{\widetilde{A}_{gf}} \right), \left( \underset{u}{\widetilde{A}_0} \right) \right] \left[ SEB_1 \left( \begin{array}{ccc} R_{0v_1} & R_{1v_1} R_{2v_1} R_{3v_1} R_{4v_1} & R_{5v_1} R_{6v_1} R_{7v_1} R_{8v_1} \\ G_{0v_1} & G_{1v_1} G_{2v_1} G_{3v_1} G_{4v_1} & G_{5v_1} G_{6v_1} G_{7v_1} G_{8v_1} \\ B_{0v_1} & B_{1v_1} B_{2v_1} B_{3v_1} B_{4v_1} & B_{5v_1} B_{6v_1} B_{7v_1} B_{8v_1} \end{array} \right) \right] \left[ \begin{array}{c} R_{9v_1} R_{10v_1} R_{11v_1} R_{12v_1} \\ G_{9v_1} G_{10v_1} G_{11v_1} G_{12v_1} \\ B_{9v_1} B_{10v_1} B_{11v_1} B_{12v_1} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} R_{13v_1} R_{14v_1} R_{15v_1} R_{16v_1} R_{17v_1} R_{18v_1} \\ G_{13v_1} G_{14v_1} G_{15v_1} G_{16v_1} G_{17v_1} G_{18v_1} \\ B_{13v_1} B_{14v_1} B_{15v_1} B_{16v_1} B_{17v_1} B_{18v_1} \end{array} \right] \left[ \Rightarrow \right] \left[ \text{ф} \right] \left[ \text{ф} \right] \left[ \triangle, \triangle, \triangle \right] \left[ \text{●} \right] \left[ \begin{array}{c} R_{19v_1} \\ G_{19v_1} \\ B_{19v_1} \end{array} \right] \right\} \quad (1.36)$$

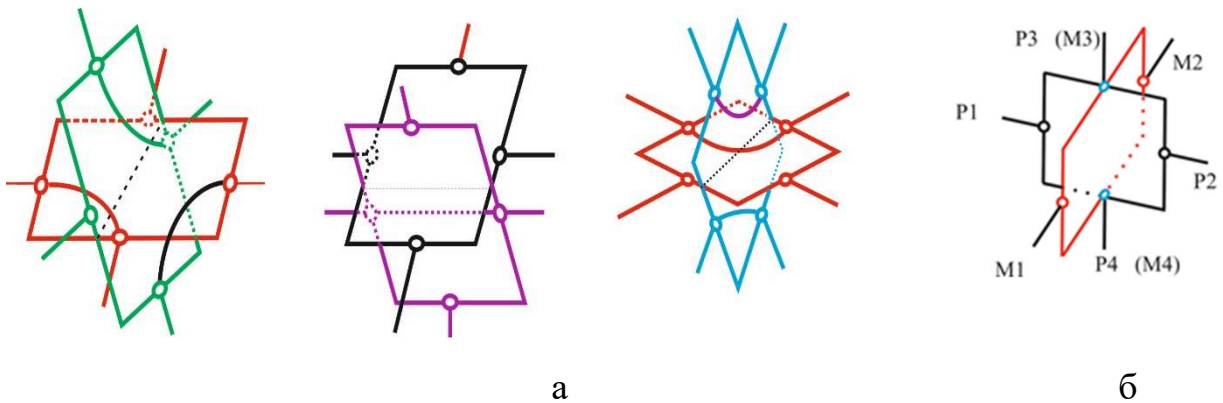


Рисунок 9. 3D фреймовые полихромные графические модели на *SEB-1* типа *n2D* с  $\eta=8$  (а) и типа *3D*  $\eta=6$  (б).

Автором впервые вводится дефиниция "коммутиционный паттерн" на коммутиционных элементах Березовского (*SEB-1*) с метрикой  $\rho$ , как первый уровень материальной/явной информации (в нашем случае запатентованные данные [343]):

$$\underline{\overline{PB}}_{k\eta\rho}^{\#} \quad (2.37)$$

Второй уровень представления паттерна – образный (латентный слой практической информации) – графическая модель/картина. Коммутиционный паттерн формируется из коммутиционных элементов *SEB-1*. Под метрикой  $\rho$  принято число образующих плоскостей, входящих в состав *SEB-1*. По умолчанию метрика базового *SEB-1*  $\rho=1$ . Увеличение метрики до  $\rho=2$

обуславливает формирование нового  $n2D$  или  $3D$  коммутационного элемента из 2-х плоскостей (Рис. 9).

Увеличение метрики  $p$  коммутационного паттерна обеспечивает увеличение числа контактных клемм "вход-выход" (портов) упакованной плоскостной  $n2D$  (22D) или  $3D$  фреймовой модели. В этом случае  $3D$ -мерная коммутационная модель реализует группу состояний, описываемых характеристическими уравнениями:

$$D_{3D} = A_i(X_{1j} \cup X_{2t}) \quad (1.38)$$

Семиотическая модель второго компонента  $SEB-1-2$  нового  $3D$  (Рис.9б) коммутационного паттерна - имеет вид:

$$\begin{aligned} & \underline{B}^{\#} \left\{ [(A_{2t}), (\emptyset), (\emptyset)] \left[ SEB_{12} \left( \begin{array}{cccccc} R_{0v_{12}} & R_{1v_{12}} & R_{2v_{12}} & R_{3v_{12}} & R_{4v_{12}} & R_{5v_{12}} & R_{6v_{12}} & R_{7v_{12}} & R_{8v_{12}} \\ f \bar{\chi} G_{0v_{12}}, \bar{\chi} G_{1v_{12}} & G_{2v_{12}} & G_{3v_{12}} & G_{4v_{12}}, \bar{\chi} G_{5v_{12}} & G_{6v_{12}} & G_{7v_{12}} & G_{8v_{12}}, \\ B_{0v_{12}} & B_{1v_{12}} & B_{2v_{12}} & B_{3v_{12}} & B_{4v_{12}} & B_{5v_{12}} & B_{6v_{12}} & B_{7v_{12}} & B_{8v_{12}} \end{array} \right) \right] \right. \\ & \left. \begin{array}{l} R_{9v_{12}} R_{10v_{12}} R_{11v_{12}} R_{12v_{12}} \quad R_{13v_{12}} R_{14v_{12}} R_{15v_{12}} R_{16v_{12}} R_{17v_{12}} R_{18v_{12}} \\ \bar{\chi} G_{9v_{12}} G_{10v_{12}} G_{11v_{12}} G_{12v_{12}}, \bar{\chi} G_{13v_{12}} G_{14v_{12}} G_{15v_{12}} G_{16v_{12}} G_{17v_{12}} G_{18v_{12}} \\ B_{9v_{12}} B_{10v_{12}} B_{11v_{12}} B_{12v_{12}} \quad B_{13v_{12}} B_{14v_{12}} B_{15v_{12}} B_{16v_{12}} B_{17v_{12}} B_{18v_{12}} \end{array} \right] \Rightarrow [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] \left[ \begin{array}{c} R_{19v_{12}} \\ \bar{\chi} G_{19v_{12}} \\ B_{19v_{12}} \end{array} \right] \left[ \bar{\chi} \langle 2/2 \rangle \Rightarrow \right. \\ & \left. \bar{\chi} \langle 4/4 \rangle \left. \begin{array}{c} R_{1v_{12}} \\ G_{1v_{12}} \\ B_{1v_{12}} \end{array} \right\} \right] \quad (1.39) \end{aligned}$$

Семиотическая модель нового  $22D$  (Рис.9а) коммутационного паттерна на элементах  $SEB1-1$  и  $SEB1-2$  имеет вид:

$$\begin{aligned} & \underline{B}^{\#} \left\{ [(A_{1j}), (\emptyset), (\emptyset)] \left[ SEB_{11} \left( \begin{array}{cccccc} R_{0v_{11}} & R_{1v_{11}} & R_{2v_{11}} & R_{3v_{11}} & R_{4v_{11}} & R_{5v_{11}} & R_{6v_{11}} & R_{7v_{11}} & R_{8v_{11}} \\ f \bar{\chi} G_{0v_{11}}, \bar{\chi} G_{1v_{11}} & G_{2v_{11}} & G_{3v_{11}} & G_{4v_{11}}, \bar{\chi} G_{5v_{11}} & G_{6v_{11}} & G_{7v_{11}} & G_{8v_{11}}, \\ B_{0v_{11}} & B_{1v_{11}} & B_{2v_{11}} & B_{3v_{11}} & B_{4v_{11}} & B_{5v_{11}} & B_{6v_{11}} & B_{7v_{11}} & B_{8v_{11}} \end{array} \right) \right] \right. \\ & \left. \begin{array}{l} R_{9v_{11}} R_{10v_{11}} R_{11v_{11}} R_{12v_{11}} \quad R_{13v_{11}} R_{14v_{11}} R_{15v_{11}} R_{16v_{11}} R_{17v_{11}} R_{18v_{11}} \\ \bar{\chi} G_{9v_{11}} G_{10v_{11}} G_{11v_{11}} G_{12v_{11}}, \bar{\chi} G_{13v_{11}} G_{14v_{11}} G_{15v_{11}} G_{16v_{11}} G_{17v_{11}} G_{18v_{11}} \\ B_{9v_{11}} B_{10v_{11}} B_{11v_{11}} B_{12v_{11}} \quad B_{13v_{11}} B_{14v_{11}} B_{15v_{11}} B_{16v_{11}} B_{17v_{11}} B_{18v_{11}} \end{array} \right] \Rightarrow [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] \left[ \begin{array}{c} R_{19v_{11}} \\ \bar{\chi} G_{19v_{11}} \\ B_{19v_{11}} \end{array} \right] \bar{\chi} \\ & \left[ (A_{2t}), (\emptyset), \left( \begin{array}{c} \emptyset \\ u \end{array} \right) \right] \left[ SEB_{12} \left( \begin{array}{cccccc} R_{0v_{12}} & R_{1v_{12}} & R_{2v_{12}} & R_{3v_{12}} & R_{4v_{12}} & R_{5v_{12}} & R_{6v_{12}} & R_{7v_{12}} & R_{8v_{12}} \\ f \bar{\chi} G_{0v_{12}}, \bar{\chi} G_{1v_{12}} & G_{2v_{12}} & G_{3v_{12}} & G_{4v_{12}}, \bar{\chi} G_{5v_{12}} & G_{6v_{12}} & G_{7v_{12}} & G_{8v_{12}}, \\ B_{0v_{12}} & B_{1v_{12}} & B_{2v_{12}} & B_{3v_{12}} & B_{4v_{12}} & B_{5v_{12}} & B_{6v_{12}} & B_{7v_{12}} & B_{8v_{12}} \end{array} \right) \right] \\ & \left. \begin{array}{l} R_{9v_{12}} R_{10v_{12}} R_{11v_{12}} R_{12v_{12}} \quad R_{13v_{12}} R_{14v_{12}} R_{15v_{12}} R_{16v_{12}} R_{17v_{12}} R_{18v_{12}} \\ \bar{\chi} G_{9v_{12}} G_{10v_{12}} G_{11v_{12}} G_{12v_{12}}, \bar{\chi} G_{13v_{12}} G_{14v_{12}} G_{15v_{12}} G_{16v_{12}} G_{17v_{12}} G_{18v_{12}} \\ B_{9v_{12}} B_{10v_{12}} B_{11v_{12}} B_{12v_{12}} \quad B_{13v_{12}} B_{14v_{12}} B_{15v_{12}} B_{16v_{12}} B_{17v_{12}} B_{18v_{12}} \end{array} \right] \Rightarrow [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] [\bar{\chi}] \left[ \begin{array}{c} R_{19v_{12}} \\ \bar{\chi} G_{19v_{12}} \\ B_{19v_{12}} \end{array} \right] \left. \right\} \quad (1.40) \end{aligned}$$

Формула, позволяющая найти число сочетаний в  $3D$  на  $SEB-1$  при значениях метрики  $p=2$  и  $p=3$  с числом входов-выходов соответственно  $\eta = 6$ ,  $\eta=8$  по  $k$  имеет вид:

$$C_n^k = \frac{\eta!}{(\eta-k)! \cdot k!}. \quad (1.41)$$

Формулы для определения коммутационных состояний нового  $22D$  на  $SEB-1$  по 2 при ( $k = 2, \eta=8$ ) и  $3D$  на  $SEB-1$  по 2 ( $k = 2, \eta=6$ ):

$$C_6^2 = \frac{6!}{(6-2)! \cdot 2!} = 15 \quad C_8^2 = \frac{8!}{(8-2)! \cdot 2!} = 28 \quad (1.42)$$

Сравнительная оценка всех возможных коммутационных состояний сочетаниям в коммутационных паттернах  $2D$  (при  $\eta = 4$ ),  $n2D$  ( $22M$  при  $\eta = 8$ ) и  $3D$  (при  $\eta = 6$ ) представлена в табл. 2.

Таблица 2.

Сравнительная оценка коммутационных состояний паттернов

k	$\eta=4$	$\eta=6$	$\eta=8$
2	10	15	28
3	4	20	56
4	1	15	70
5	-	6	56
6	-	1	28
7	-	-	8
8	-	-	1
$\Sigma$	15	57	247

Представленные семиотические модели являются, по сути, системой логических утверждений дескрипционной логики. Однако, в процессе добавления новых знаний появляется проблема их понимания и эффективной передачи новых знаний человеку-оператору как деятельностному актору, который сам является частью процесса моделирования. На это нацелена информационно-интеллектуальная технология ( $И2Т$ ) — технология с использованием синергических средств воздействия на информационные объекты, т.е. направленная на достижение когнитивизиса, этапа интроекциоза в мышлении оператора, обеспечивающего проведение рассуждений, предметных умозаключений с формированием в мышлении оператора технических



сущностей в виде когнитивных семантических отражений. *И2Т* позволяет осуществлять переход от баз данных единого информационного пространства к базам знаний единого информационно-интеллектуального пространства с симбиозитированным использованием других предметно-специализированных языков.

Иными словами, для решения этой задачи, при визуализации необходимо учесть психологические особенности восприятия и структурирования человеком-оператором информации, а также общие принципы определения понятий в новых знаниях [347].

В качестве *второго подхода* представления графической модели как геометрического места точек (*ГМТ*), она может быть представлена уравнением общего вида:

$$F(x,y,z)=0, \quad (1.43)$$

где каждая точка будет иметь три координаты в каком-либо обозначенном базисе.

Полная расписанная форма равенства имеет вид:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{23}yz + 2a_{13}xz + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} = 0 \quad (1.44)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_n$ , — действительные числа (коэффициенты многочлена) некоторые константы;  $x, y, z$  — переменные, отвечающие аффинным координатам какой-либо точки, но не любая точка будет отвечать уравнению.

Однако уравнению (1.44) присущ существенный недостаток, который состоит в том, что почти всегда не понятно, какой класс линии оно задаёт, т.е. оно может и не определять действительный геометрический образ. Для устранения этой проблемы в аналитической геометрии предусмотрено выполнение типовой задачи приведения уравнения линии 2-го порядка к каноническому виду.

В качестве третьего, и универсального, визуального образа представим предложенную выше графическую *2D* модель - как *пикториальную*.

В качестве инструмента решения предлагается ввести дефиницию "когнитивный паттерн" на *SEB-1* – как *ноон-модель (НМ) на SEB-1* и формировать содержимое *НМ* на основе общих отношений, таких как «таксономия» модели [348].

Необходимо отметить важную особенность графической *пикториальной - ноон-модели* коммутационного когнитивного паттерна на *SEB-1* - репрезентативность как набор существенных признаков (цвет) и связей отображаемых состояний *SEB-1* [349].

Важно для используемой модели понятие достаточность информации, которое связано с ее смысловым содержанием (семантикой) и прагматикой, и которое содержит минимальный, но достаточный для понимания и принятия правильного решения набор используемых информационных показателей.

Декларативные знания, представленные на языке дескрипционной логики, и соответствующие им графические модели, снабженные определенной классификацией специфицируемых знаний, позволяют человеку-оператору адекватно использовать их, а нам рассматривать это как онтологию предметной области [350].

Разработана онтология *ноон-моделей коммутационных паттернов на SEB-1* – онтология полихромных когнитивных моделей коммутационных паттернов на *SEB-1* с метрикой  $\rho$ . Грамматический сеттинг информации *ноон-моделей паттернов на SEB-1* представлен в Табл. 3.


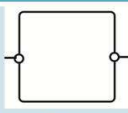

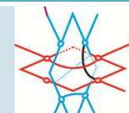
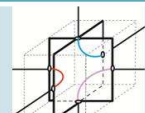
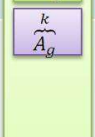
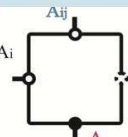
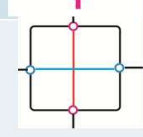
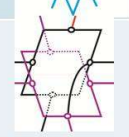
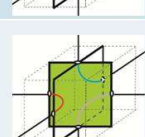
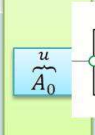
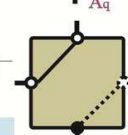
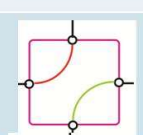
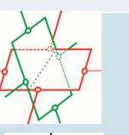
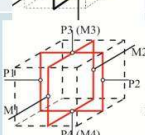

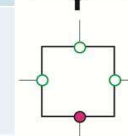
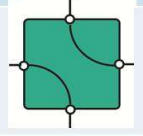
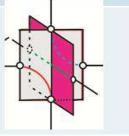
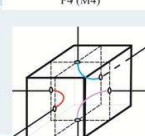

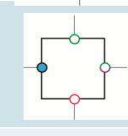
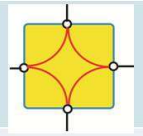
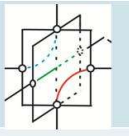
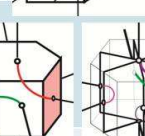
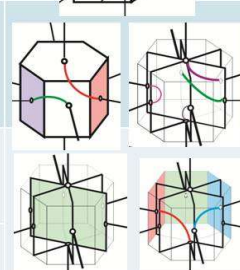
Применение коммутационных паттернов позволяет суммировать опыт экспертов/разработчиков и сделать его доступным человеку-оператору.

Адаптивный выбор паттернов проектирования упрощает реструктуризацию системы, позволяет сделать программную систему более гибкой, ее легче поддерживать и модифицировать, а код такой системы в большей степени соответствует концепции повторного использования.

Имена паттернов образуют своего рода словарь, который позволяет разработчикам и человеку-оператору лучше понимать друг друга.

Таблица 3.

Грамматический сеттинг информации ноон-моделей паттернов на SEB-1.

Фреймворк КЭБ	Модель	2D	n2D	n2D/3D	
$B^\#$					
					
					
					
					
$B^\# (C)$	Витая пара ( <i>twisted pair</i> )  $B^\# (RGB)$	Коаксиальный кабель ( <i>coaxial</i> )  $B^\# (218,112,214)$	Волоконно-оптический кабель ( <i>optical fiber</i> )  (Orchid)		

Представим 3D SEB-1 в виде трехмерного куба, сформированного объединением 2D – коммутационных элементов в декартовой системе координат. Представление 3D-эскизов плоскостей SEB-1 значительно упрощает процесс проектирования, и, если результаты можно применить в 3D-среде, процесс представляется еще более эффективным (Табл.3).

Отличительной особенностью топологий на 3D SEB-1 является возможность раскраски-отображения коммутационных состояний отдельных плоскостей SEB-1.

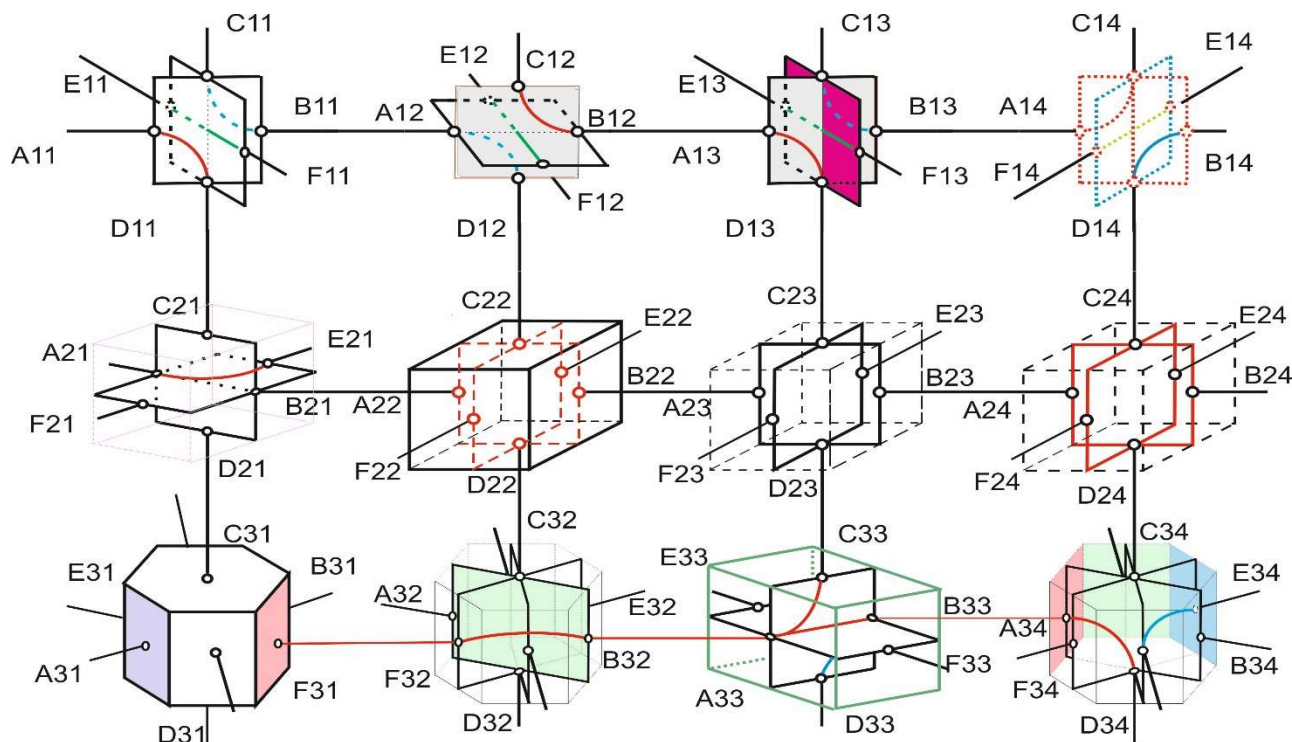


Рис. 10. Совместимость ноон-моделей коммутационных паттернов на SEB-1

Плоская двумерная коммутационная структура – фабрика (Рис.10), при использовании коммутационных паттернов на *SEB-1* формируется как матрица-решетка заданной размерности, с возможностью заданного наращивания без изменения структуры управления за счет изменения размерности массивов управляющих слов.

$$F_{4P} := \{ \sum_{i=1}^h \lll B^{\#}(RGB) [n \approx VP_{1q} \approx m] \rrr \} \quad (1.43)$$

Описание модели расширено семантическими конструкциями дескрипционной логики предметной области и базами знаний, определяющими логику работы моделей [348].

Вне зависимости от того, реализованы ли функции модели на специализированном языке логики или описаны в виде правил, пользователь будет оперировать ими одинаково.

Сеттизированная информация обеспечивает направленно-клиаративное осмысление, интегративно декларативно-процедурное запоминание, креативное формирование в мышлении оператора концептуальных моделей, относящихся к технической среде, более коротким путем без промежуточных преобразований путем использования символов/картин — знаков, обладающих

дополнительными ассоциативными связями с замещаемыми объектами (сущими) и приобретающими в результате этого значимо-расширенное применение в обеспечении информационно-семантической деятельности.

Символы/картины как графические образы отражают подобие определенным реальным объектам, имеющим одинаковое назначение при некотором отличии в устройстве, предназначены для осуществления управляемой интерпретации семантики информации при ее разработке с применением геометрических (графических примитивов в виде геометрических плоских, объемных фигур) пикториальных знаковых средств при осуществлении человеком-оператором эмпирически-эвристического взаимодействия с техникой.

Резюмируем.

1. Предложенный *SEB-1* может находиться в одном из заданных состояний  $N_i$  априорного набора. Каждое состояние *SEB-1*, кодируется логическим высказыванием  $A_j$  и может быть представлено в виде графической *2D*, *3D* модели элемента *SDSS*.

Принципы, опирающиеся на классическое понимание формальной системы логических моделей (дедуктивного вывода), стали слишком узкими для решения задач гибридного интеллекта (*ГИ*). Логический подход в его классической форме требует для каждой предметной области, для которой применяются методы *ГИ*, наличия полного перечня исходных положений, которые можно было бы считать аксиомами этой предметной области. Их существование (сюда, естественно, включаются и априорно задаваемые правила вывода) обеспечивало замкнутость используемых моделей, позволяло ставить и решать круг проблем, связанных с полнотой, результативностью и непротиворечивостью используемых моделей и процедур.

2. Принципиальная и неустранимая сложность коммутационных структур – (объемность их рассмотрения) и масштабность задач (моделирование  $n$ - мерных процессов) маршрутизации предопределяет их исследование на ПЭВМ как объективную потребность.

Традиционная буквенно-цифровая технология общения пользователя с ПЭВМ крайне ограничивает возможности человека по переработке символьной,  $n$ -мерной информации и вступает в явное противоречие с главным достоинством ПЭВМ – с их высоким быстродействием.

3. Отличительной особенностью применения *SEB-1* является упрощение процедуры математического конструирования  $2D$ ,  $3D$  моделей топологии *SDSS*.

4. Модели позволяют визуализировать  $2D$ ,  $3D$  топологии *SDSS*. В них отражено сложившееся в проектировании видение роли и места когнитивной графики при разработке новых *SDSS*.

5. Предложенный в работе подход базируется на принципах визуально ориентированного моделирования с использованием моделей в виде комбинаций базовых *SEB-1* между собой для получения моделей более высокого уровня. Пользователь может разрабатывать свои собственные модели, если нужная модель в предложенной онтологии моделей отсутствует. Это расширяет возможности моделирования коммутационных структур на *SEB-1*.

6. Приведение различных *ноон-моделей* на *SEB-1* к единым компонентам среды моделирования позволяет проектировщику-конструктору строить универсальные модели *SDSS*, применяя различные варианты систем координат и пространств.

7. Применение моделей *SEB-1* позволяет визуализировать задачу проектирования заданной топологии *SDSS*, т.е. разработать визуальный объёмный образ желаемого объекта. При этом модель может соответствовать как объектам из реального мира, так и быть полностью абстрактной, кроме того модель упрощается, экономно используются ресурсы памяти, повышается скорость анализа/расчета и работоспособность человека-оператора, а гибридная система превращается в полноценную систему принятия решений.

## 8.8 Сучасні інноваційні технології підприємства України в умовах карантину

Ізоляція в наслідок пандемії Covid-19 паралізувала ділову діяльність у всьому світі. Для українських підприємців ця ситуація ускладнила і без того важку економічну ситуацію [351]. Це створює виклик економічного розвитку та сприяє швидким змінам у бізнесі та житті людей будь-якого суспільства. Зростання невизначеності щодо впливу пандемії на економіку змусило уряд діяти швидко та запроваджувати різні заходи комерційної підтримки, особливо в районах, які найбільше постраждали від туризму, промисловості та готелів. Найбільше постраждали від пандемії сектори малого та середнього підприємництва були змушені закритися, що вимагає негайної державної підтримки.

У професійному та науковому середовищі сформувалася майже чітка думка про серйозність економічного характеру наслідків будь-якої кризи та карантинних обмежень. За сучасних криз не тільки очевидні не тільки втрати під «нокдаунів» або карантину, але й інерція довгострокових негативних наслідків для економічного розвитку після встановлення. Функціональна система підтримки середнього та малого бізнесу у докризовому періоді очевидно мала зазнати значних та швидких змін як у постачанні, так і змістовності [351].

Через пандемію коронавірусу та карантинні заходи падіння українського ВВП за даними Міністерства розвитку, торгівлі та промисловості припадало на лише 6,5% під час першої половини 2020 року.

Ізоляція під час карантину зменшила споживчі настрої та майже зупинила декілька галузей промисловості, серед яких: роздрібна торгівля, готельно-ресторанний бізнес, авіап перевезення. Доходи бюджету зменшились. Завдяки введенню ізоляції Українські компанії заморозили інвестиційні та виробничі ланцюги. Швидко відновлюються відділи, де карантинні обмеження пом'якшуються і які пов'язані зі споживчим попитом, особливо

в роздрібній галузі та сфері обслуговування. З промисловістю та інвестиційним попитом ситуація не настільки врівноважена [352].

Відновлення промисловості відбувається повільніше, ніж роздрібна торгівля. Вона дуже незбалансована – вплив карантину має більший вплив на певні галузі, але менший на інші. Наприклад, повертаючись на початок минулого року, мусимо зазначити що більшість галузей пережили найбільші спади у квітні, а після травня відбулося лише незначне відновлення та зріст. Це ж саме можна сказати і про карантинні обмеження кінця року.

Тоді, минулого року, найбільше постраждав транспорт, як ми пам'ятаємо [351]. Більше того, коли карантин полегшився, він не відновився. Машинобудування – другий «антилідер», який у травні показав незначний результат, як і паливна та металургійна промисловість. У травні енергоспоживання харчової промисловості ще більше впало, якщо порівнювати двома місяцями раніше. На тлі падіння цін у хімічній та нафтохімічній, основна сировина – нафта та природний газ збільшували споживання упродовж квітня та травня.

Хоча уповільнення базових галузей певною мірою і підтримало ринок праці, але попит на робочу силу все ще був слабшим, ніж до ізоляції. Впровадження карантинних обмежень негайно вплинуло на заробітну плату працівників. Найбільш оптимістичними щодо відновлення виробництва є будівельні компанії, а найбільш песимістичними – компанії у сфері послуг. На такі сфери карантинні обмеження впливають найбільше. Основне занепокоєння – падіння виробництва та реалізації, послуг, скорочення нових працівників. Це сильно погіршило фінансове становище підприємств та домогосподарств [351].

Хоча уповільнення базових галузей певною мірою і підтримало ринок праці, але попит на робочу силу все ще був слабшим, ніж до ізоляції. Впровадження карантинних обмежень негайно вплинуло на заробітну плату працівників.



За відсутності відповідної допомоги з боку держави, компанії вжили негайних заходів відповідальних за здоров'я працівників та споживачів. Були придбані засоби індивідуального захисту – рукавички, маски, антисептики (в подібних умовах це важко зробити у наслідок дефіциту товарів).

За умови обмеження діяльності громадського транспорту саме підприємства забезпечували транспортування працівників до робочого місця [352].

Цей момент став переломним для багатьох підприємств та їх організації у тому чи іншому просторі. У всьому світі та в Україні карантинні обмеження збільшили кількість безробітних. Багато компаній звільняли та продовжують звільняти працівників, а дехто і бере відпустки за свій рахунок.

Серед багатьох країн Європи найбільш популярним механізмом підтримки бізнесу під час карантину є: відстрочка податкових платежів, відпустки, компенсація витрат на заробітну плату, пільгові позики та гранти [353]. Більшість інструментів підтримки бізнесу зосереджено на надання фінансової підтримки підприємствам у формі відшкодування витрат за кредити, гранти, або у вигляді компенсації витрат на заробітну плату. Такі механізми є ефективними під час кризи у підтримці малого та середнього бізнесу.

Враховуючи рівень важливості тіньової економіки України, особливо ті галузі, які постраждали найбільше, продовження кризових явищ, реальні витрати бізнесу та бюджету можна встановити лише заздалегідь. В багатьох подібних умовах варто переглянути підходи до підтримки бізнесу в Україні, створити сучасні інноваційні методи. Ефективним рішенням можна вважати сучасний підхід та підтримку бізнесу на прикладі та досвіді країн Європи [353]. Ось що пропонується:

- Посилити частину фінансової підтримки запровадивши план надання грантової підтримки для малого та середнього бізнесу. Така система може

фінансуватись за рахунок коштів програм Міжнародної допомоги та за рахунок коштів державного бюджету;

- Надання послуги розстрочки або компенсації за окремі комунальні платежі для підприємств, що найбільше постраждали від пандемії або відкривають власний бізнес;

- Тимчасово розширити план компенсації вартості праці для роботодавців на час карантинних заходів для найбільш постраждалих галузей;

- Ввести спеціальні податкові пільги для туризму;
- Запровадити функцію відстрочки або встановлення податку.

Такі запропоновані заходи можуть сприяти відновленню економіки, дати поштовх до розвитку економіки малого та середнього бізнесу та України в цілому.

Є багато основних факторів, що сприяють розвитку підприємства в умовах кризи [352]. У процесі дослідження та оцінки ці фактори поділяються на дві основні категорії:

1. Не залежать від діяльності підприємства (зовнішні або екзогенні фактори);

2. Залежні від діяльності підприємства;

Особливість корпоративної кризи полягає в тому, що вона значною мірою залежить від зовнішніх факторів - ступеня нагляду за фінансовою діяльністю організації, стану фінансового ринку, рівня розвитку, інфраструктури тощо. Однак такий вид кризи зазвичай виникає під впливом негативних внутрішніх факторів. Деякі з них можуть бути суб'єктивними [351]. Зазвичай ці ризики можна швидко вирішити за допомогою внутрішнього механізму управління кризами.

Однак слід зазначити, що відносно кризового стану українських підприємств, можна розглянути такі основні причини:

- Недостатнє розуміння можливості прогнозування кризи;

- Низький ступінь функціонування та взаємозв'язок між такими важливими механізмами, як соціальна політика, економіка, культура та психологія;
- Відсутність лідерства, що є головним внутрішнім фактором і основною причиною кризи (недостатньо знань керівництва, неврівноважена адміністративна команда; відсутність ентузіазму);
- Відсутність контролю, що виявляється у трьох аспектах: відсутність планування, необґрунтоване прийняття рішень, випадкові відхилення, помилки та неправильні розрахунки (інженерія, управління, політика);
- Неправильне виконання розподілом своїх функцій фінансовими службами, особливо відсутність гнучкого фінансового планування та аналізу, управління ризиками тощо [354].

Проблема полягає в тому, що більшість підприємців не розуміють факторів кризи компанії, а також не використовують сучасні методи для своєчасної та всебічної діагностики ситуації на підприємстві. Тому одним із важливих факторів для визначення позитивного результату та подолання кризи є визначення причини її виникнення.

Загроза економічної кризи відображається внутрішньо та зовні. Зовнішньою є здатність компанії мобілізувати необхідну кількість оборотних коштів для виконання своїх зобов'язань перед кредиторами, внутрішня – здатність забезпечити оборотний капітал, необхідний для ведення підприємницької діяльності. Підтримання оборотних коштів на належному рівні здійснюється за рахунок корпоративних грошових коштів та еквівалентних ресурсів [354].

З точки зору стратегічного управління, "криза підприємства" зумовлена втратою філософії бізнесу, що створює реальну довгострокову конкурентну перевагу.

Сучасна інноваційна технологія українських підприємств в умовах карантину повинна передбачати такі способи організації роботи підприємства протягом карантинного періоду:

1. Надання працівникам базові щорічні відпустки, передбачені законодавством;
2. Потреба у неоплачуваній відпустці на вимогу працівника;
3. Встановлення працівників на повний або неповний робочий день;
4. Запровадження роботи змінами;
5. Тимчасово встановити віддалений графік роботи;
6. Продовження роботи, користуючись засобами індивідуального та колективного захисту.

### **Забезпечення базової щорічної відпустки працівникам**

Водночас закон не забороняє надавати працівникам щорічну відпустку протягом карантинного періоду або його частини за згодою обох сторін [353]. Якщо щорічна відпустка, надана протягом попередньо визначеного періоду може негативно вплинути на нормальну роботу підприємства, державної установи чи організації, то така відпустка може бути перенесена на інший період, але за ініціативою власника. Обов'язкові передумови:

- Письмова згода працівника;
- Узгодження з виборним органом головної профспілкової організації (профспілковим представником);
- Частина канікул, принаймні 24 календарних днів, буде використана в поточному робочому році;

### **Відпустка без збереження заробітної плати**

Примус працівників до відпусток «за власний рахунок» є недопустимим! Крім того, роботодавці не можуть проявляти ініціативу просити всіх працівників взяти відпустку [354].

Примус працівників до відпусток «за власний рахунок» є недопустимим! Крім того, роботодавці не можуть проявляти ініціативу просити всіх працівників взяти відпустку.

### **Встановлення неповного або скороченого часу**

Подібні правила для працівників можуть бути встановлені під час працевлаштування.

На прохання вагітної жінки, яка має дитину віком до 14 років або дитину-інваліда, чи здійснює догляд за хворими людьми, керівництво має зобов'язання уповноважити її на неповний робочий день або тиждень.

Впровадження роботи за допомогою змін повинно здійснюватися за бажаннями працівників та за можливості виробничого процесу [355]. За згодою роботодавця праця може бути запроваджена шляхом змін (день/ніч) під час карантину. Ця форма вимагає оплати за фактично виконану роботу.

### **Дистанція робота в умовах карантину**

Пандемія коронавірусу змусила багатьох роботодавців та робітників перейти до безмежних масштабів роботи на дистанції. Закон дозволяє роботодавцям "доручати" своїм працівникам виконувати завдання "вдома" в рамках обмежувальних заходів. Це, по суті, означає, що наказ роботодавця дозволяє переходити на віддалену роботу під час ізоляції без підписання інших трудових договорів [355]. Але, знову ж таки, для повного розуміння та застосування цього кодексу роботодавцям потрібні не одна юридична порада та численні пояснення державним чиновникам. Крім того, ці правила не можна назвати зрілими кроками до модернізації трудового законодавства. Застосування заходів індивідуального та колективного захисту.

Якщо використання засобів індивідуального та колективного захисту протягом карантинного періоду не перешкоджає діяльності підприємства, роботодавець має право продовжувати працювати, забезпечуючи особу та колектив миючими засобами, антисептиками, інформуючи працівників про профілактичні заходи, розміщені на офіційний веб-сайті ВОЗ для безпечного виходу на роботу [355].

«Поствірусний свій» як глобальне середовище, в якому існуватиме бізнес у середньостроковій перспективі зміниться, що вже спричинило нові явища бізнес-стратегії з появою наступних тенденцій:

1. Поява нових каналів збуту. Для зменшення негативного тиску компаніям варто виділяти бар'єри для нормальної економічної діяльності. Повинні вони розвивати альтернативні канали збуту. Йдеться про процес продажу товарів / послуг через Інтернет-канали, або шляхом використання посередницьких платформ [354].

2. Використовувати для виробництва існуючі промислові потужності. Пандемія коронавірусу зменшила попит на певні категорії товарів та послуг, що призвело до недостатнього використання організаційної та промислової інфраструктури. У той же час попит на інші категорії товарів все ще високий або асиметричний. Рекомендується переорієнтувати недостатньо завантажену інфраструктуру для виробництва товарів та послуг у боротьбі з Covid-19, а також для майбутніх змін споживчого попиту.

3. Швидко впроваджувати інновації навколо нових потреб. Збалансувати асортимент продукції, адже нові потреби клієнта створюють можливість для інновацій.

4. Розвивати промислові можливості для адаптації зростаючих потреб [354]. Потрібно радити компаніям зростаючих сегментів ринку розширити свій бізнес. Розвиток партнерських відносин з іншими компаніями може покращити можливості промислової логістики під час кризи. Для задоволення потреб в новій інфраструктурі доцільно співпрацювати із зовнішніми партнерами у спільній економіці використання.

5. Зосереджуватись на відкритті нових звичок споживання. Зміни в таких моделях, спричинених пандемією коронавірусу буде збережено протягом періоду після карантину. Більшість галузей орієнтуються на нові ринкові реалії в багатьох країнах. Важко зазначити, які нові звички будуть існувати в довгостроковій перспективі, але можливості охоплюють перехід від офлайн до онлайн освіти, трансформацію надання медичної допомоги та збільшення цифрових каналів продажу. Слід прискорити цифрову трансформацію та освоїти цифрові інструменти маркетингу, налагодження партнерських відносин через онлайн-платформи [354].

7. Пошук нових джерел доходу. Імовірно, що після завершення пандемії коронавірусу існує можливість скорочення багатьох ринків та довгострокового попиту на них з боку споживачів і підприємницьких структур. Конкуренція посилюється, а пошук нових можливостей для доходу буде важливим для сталого розвитку компанії. Насправді, існують конкретні стратегії.

8. Підвищення рівня підготовки, навичок та кваліфікації працівників відповідно до потреб нового світу. Пандемія коронавірусу змусила всі підприємства переглянути існуючі аспекти їх діяльності: віддалена робота, цифрова взаємодія/використання нових технологій. Це ставить перед організацією завдання забезпечити набуття персоналом нових навичок та посилити їх готовність прийняти зміни [354].

Швидкість технологічного процесу ставить великі вимоги до вдосконалення [356]. Навички робочої сили та післякризові вимоги збільшують цю потребу. Для технічного навчання працівників необхідно ретельно оцінювати навички та зосередитися на компетентності, інвестувати у навчання. Вплив змін на діяльність компаній тільки збільшує продуктивність. Підтримати інноваційну діяльність, посилити відчуття причетності у працівників лише підвищить їх задоволеність роботою.

Тому, підсумовуючи, можна сказати, що будь-яка криза є досить поворотним моментом у послідовності економічних процесів, подій та дій. Типовою характеристикою кризи є ліквідація підприємства (як крайньої форми) або успішне вирішення проблеми. Напрямок розвитку кризового процесу значною мірою залежить від якості управління бізнесом [352]. З одного боку, цей вид високих управлінських здібностей може визначати конкретні об'єкти управлінських дій, з іншого, він може забезпечити вжиття ефективних дій та своєчасне визначення місця кризового процесу. Отже, вивчення вищезазначених факторів та параметрів кризи поглибить розуміння таких подій, як процес, його закономірності та тенденції, і дозволить більш

детально проаналізувати кризові ситуації, що виникають у діяльності різних суб'єктів.

Найбільшими ризиками для малого та середнього бізнесу України в карантинних умовах є: перервана діяльність, дефіцит ліквідності, зменшення споживчого попиту, невизначеність зовнішнього ринку. Потужність та реалізація підприємницького потенціалу залежить від швидкої модернізації та адаптації державної політики підтримки [356].

З огляду на важливість покращення реалізації бізнес-клімату підприємницького потенціалу в умовах економічної кризи, необхідно і в подальшому проводити дослідження наявних перешкод для розвитку підприємництва України з метою визначення пріоритетів та стимулювання сталого економічного розвитку в умовах пандемії [355].

Підводячи підсумки, можна сказати, що в останні кілька років тенденція переходу роздрібної торгівлі до цифрового світу є дуже очевидною. З прийняттям карантинних заходів вона значно посилилася.

Ще однією інноваційною технологією, яку сьогодні шукають покупці, є попереднє замовлення. Ви можете легко замовити їжу, їжа готова і доставляється вам, коли це знадобиться. Зараз це настільки популярно, що Google інтегрував замовлення продуктів у свою функцію пошуку та Карти Google. Зайдіть в карти Google, знайдіть ресторан поблизу, оформіть замовлення та оплатіть через програму.

Сьогодні люди купують, коли їм це потрібно. І відбувається це через Інтернет. Оскільки безконтактні можливості залишатимуться незмінними після карантину, роздрібні продавці будуть змушені розвивати подібні інноваційні технології для клієнтів, які стежать за гігієною. У цьому випадку споживачі зможуть вибрати доставку додому.

Компанії завжди шукають шляхи надання клієнтам унікальних можливостей та побудови кращих відносин. Однак зараз, як ніколи, недостатньо покладатися виключно на пульс ринку. Потрібно розпочати впровадження роздрібних тенденцій і визначити майбутнє торгівлі вже сьогодні.



## **8.9 Использование минеральных заполнителей, наполнителей и микронаполнителей в сухих строительных смесях для поризованных растворов**

Основным способом проектирования составов сухих строительных смесей остается экспериментальный метод подбора рецептов, который заключается в подборе соотношения между вяжущим, заполнителем и добавками по заданным физико-механическим, технологическим и эксплуатационным свойствам [357].

Сухие строительные смеси являются тонкоизмельченным сложным композитом, поэтому в технологии их изготовления возможна компоновка составляющей смеси в виде заполнителя (крупность зерен 0,2-2,5 мм), наполнителя (крупность зерен 0,14-1,25 мм) и микронаполнителя (крупность зерен менее 0,16 мм).

В работах [358, 359] авторы довели, что эффективные микронаполнители – дисперсные природные или техногенные вещества, преимущественно неорганического состава, нерастворимые в воде, которые характеризуются крупностью зерен менее 0,16 мм. Целесообразность использования микронаполнителей для сухих строительных смесей обоснована требованиями ДСТУ Б В.2.7-126: 2011: крупность заполнителей для ССС должна быть не более 0,4, 2,5, 1,25, 0,8, 0,63, 0,4, 0,315 или 0,2 мм в зависимости от группы смеси по назначению. По мнению авторов в работе [360] установлено, что использование для производства сухих строительных смесей, в том числе и поризованных, различных отходов переработки горных пород и отходов промышленности, а также глинистых минералов, которые характеризуются повышенным содержанием пылевидных частиц (менее 0,16 мм – 18-25%). Необходимо отметить, что повышенное содержанием пылевидных частиц является основным препятствием для использования глинистых минералов в обычных растворах и бетонах.

Исследователями в работе [361] установлено, добавление тонкодисперсных минеральных добавок содержащих микрокремнезем, способствует к более

быстрому формированию пластической прочности вяжущего за счет повышения растворимости  $\text{SiO}_2$  и последующей интенсификации образования гидросиликатов кальция. Для усиления формирования пластической прочности необходимо дополнительно вводить карбонаты (10-15% мела, или 10-15% доломитовой муки).

Использование карбонатных отходов известняка в производстве сухих строительных смесей обусловлено рядом объективных факторов, главным из которых является достаточно широкое распространение природного известняка, большие запасы некондиционных известняковых отходов в отвалах, высокие технические и эколого-экономические показатели свойств изделий из него [362, 363].

Правильный подбор основного минерального состава смеси с добавлением тонкодисперсного минерального наполнителя и пластификатора позволяет достичь снижения водотвердого отношения ( $V / T$ ), а, следовательно, повысить водоудерживающую способность раствора [364].

Использование золы-уноса ТЭС для производства ССС позволяет получать на их основе растворы низкой водопотребности без изменения их физико-механических характеристик [365]. Зола-унос ТЭС – это фактически стекловидные инертные частицы шарообразной формы размером до 100 мкм [366], которые будут обладать повышенной подвижностью при низких значениях влажности. Это позволяет получать на основе СБС растворы и бетоны необходимой подвижности и пластичности без добавления других пластифицирующих добавок. Использование тонкодисперсных составляющих, таких как зола-унос ТЭС, способствует равномерному полидисперсному распределению компонентов вяжущего, способствует интенсификации процессов гидратации, а следовательно приводит к повышению активности вяжущего [367].

В работах авторами [368-370] установлено закономерности изменения свойств ССС от оптимального гранулометрического состава сухих смесей, содержания высокодисперсных минеральных наполнителей или

тонкодисперсных минеральных добавок. Кроме химического состава компонентов и их дисперсности (удельной поверхности), на формирование структуры цементного камня при поризации влияет добавление минерально-однородных компонентов с высокой поверхностной активностью в водной среде [371].

Нами проведено исследование влияния гранулометрического состава сухих смесей, проведен подбор минеральных заполнителей и наполнителей. В таблице 1 приведены свойства: заполнителей – кварцевого (КП) и известнякового песков (ИП) с модулем крупности  $M_k=1,2$ ; наполнителей – кварцевого песка, глиняного порошка (ГП), известнякового песка из отходов добычи карбонатных пород, золы-уноса ТЭС с модулем крупности  $M_k=0,16$ .

Таблица 1. Свойства минеральных наполнителей

Вид наполнителя	$M_k$ до помола	Удельная поверхность после помола, $S$ , $\text{см}^2/\text{г}$	Содержание частиц размером 0,14 мм	Насыпная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$
ИП	0,315	3000	30%	1110
ИП	0,63	3000	30%	940
КП	1,2	2500-3000	30%	1410
ГП	0,315	1000-3500	90%	1070
ГП	0,63	1000-3500	80%	910
ЗУ	0,14	2000-3000	95%	1130

Использование цементного вяжущего составляло 10-12% от массы сухих компонентов, а поризованная структура достигалась введением поверхностно-активных веществ, а не использованием пористых заполнителей. Наполнители вводили в количестве 5-30% от массы цемента. Эффект поризации сухих смесей ПАВ составляет 33-65%. Результаты экспериментальных исследований показали, что прочность полученных смесей превышает в 1,1-2,8 раза прочность ССС на пористых заполнителях (перлитовые ССС имеют  $R_{сж.}=0,45-1,8$  МПа), а средняя плотность составляет до  $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ , что позволяет использовать их для получения конструктивно-теплоизоляционных материалов. В таблице 2 приведены основные характеристики поризованных ССС в зависимости от вида наполнителей.

Таблица 2. Свойства поризованных растворов из ССС

Вид наполнителя	$\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж.}$ , возраст 28 суток, МПа	$\lambda$ , Вт/(м $\times$ °С)
Кварцевый песок	1195	4,95	0,51
Глиняный порошок	1100	3,84	0,46
Зола-унос ТЭС	1050	4,0	0,43
Известняковый песок	980	4,9	0,40

Основные исследования были выполнены с применением математического планирования эксперимента [372 - 373], условия планирования которого приведены в таблице 3. Во время исследований в каждой точке плана изготавливали поризованный раствор состава вяжущее : заполнитель : наполнитель из вариацией содержания этих компонентов, определяли В/Т отношение для достижения растекания раствора на встряхивающем столике не менее 80 мм и растекание по вискозиметру Суттарда не менее 120 мм, среднюю плотность и прочность образцов-балочек на сжатие и изгиб в возрасте 28 суток.

Таблица 3. Условия планирования эксперимента

№	Факторы влияния		Уровни варьирования						Интервал
	Натуральные	Кодированные	-3	-2	-1	0	+1	+2	
1	Расход цемента, Ц,% от массы сухой смеси	$X_1$	-	-	10	12	15	-	2
2	Содержание наполнителя,% от массы сухой смеси: - кварцевый песок, КП; - известняковый песок, ИП; - глиняный порошок, ГП; - зола-унос ТЭС, ЗУ	$X_2$ $X_4$ $X_6$ $X_7$	5	10	15	20	25	30	5
3	Расход заполнителя,% от массы сухой смеси: - кварцевый песок, КП; - известняковый песок, ИП	$X_3$ $X_5$	80	75	70	65	60	55	5

После проведения обработки и статистического анализа экспериментальных данных получены математические модели свойств поризованных растворов на основе ССС в виде полиномиальных уравнений регрессии (1) - (4) :

- водотвердого отношения:

$$\begin{aligned}
 B/T = & 0.395 - 0.051x_1 - 0.003x_1^2 + 0.005x_2 + 0.002x_3 - \\
 & - 0.001x_4 + 0.002x_5 + 0.011x_6 - 0.002x_7 - 0.0x_7^2;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- средней плотности:

$$\rho_m = -1246.103 + 380.946x_1 - 17.231x_1^2 - 9.15x_2 + 0.785x_2^2 + 7.216x_3 - 0.096x_3^2 + 18.571x_4 - 0.74x_4^2 + 0.073x_5 + 0.008x_5^2 + 18.664x_6 - 0.507x_6^2 + 22.509x_7 - 0.55x_7^2; \quad (2)$$

- прочности на сжатие:

$$R_{st} = -17.174 + 3.596x_1 - 0.163x_1^2 - 0.194x_2 + 0.013x_2^2 - 0.064x_3 + 0.001x_3^2 + 0.045x_4 - 0.055x_5 + 0.001x_5^2 + 0.131x_6 - 0.004x_6^2 + 0.204x_7 - 0.004x_7^2; \quad (3)$$

- прочности на изгиб:

$$R_{zg} = -13.858 + 2.704x_1 - 0.123x_1^2 - 0.210x_2 + 0.010x_2^2 - 0.012x_3 + 0.0x_3^2 + 0.028x_4 - 0.001x_4^2 + 0.057x_6 - 0.002x_6^2 + 0.064x_7 - 0.001x_7^2. \quad (4)$$

Исследования показали, что на В/Т отношение наиболее существенное влияние, как и ожидалось, имеет расход цемента и введение наполнителя глиняного порошка из-за их высокой удельной поверхности (В/Т=0,3). Известно, что введение тонкодисперсного наполнителя в виде золы-уноса ТЭС способствует уменьшению водопотребности растворов и бетонов [374-376], что объясняется уменьшением количества капиллярной воды, которую могут содержать стекловидные частицы золы.

Положительное влияние на уменьшение В/Т отношения имеет использование известнякового порошка. Низкие значения водопотребности смесей достигаются сочетанием кварцевого песка в качестве заполнителя и известнякового песка в качестве наполнителя (В/Т=0,15), а также известнякового песка в качестве заполнителя и золы-уноса в качестве наполнителя (В/Т=0,22). Использование кварцевого и известнякового песка в качестве наполнителя в сочетании с известняковым заполнителем приводит к увеличению В/Т до 0,34 и до 0,4 соответственно.

Установлено, что самая низкая средняя плотность наблюдается при использовании в качестве наполнителя карбонатного песка в сочетании с карбонатным (810-1150 кг/м<sup>3</sup>) и кварцевым песком (630-1060 кг/м<sup>3</sup>) в роли заполнителя. Введение глиняного порошка и золы-уноса приводит к повышению средней плотности до 1100-1200 кг/м<sup>3</sup> за счет их высокой дисперсности,

насыщения пен, которое ведет к разрушению воздушных пузырьков, уменьшение кратности, а в результате – к получению растворов высшей средней плотности и низшей пористости.

Анализируя уравнение 3, приходим к выводу, что на прочность сжатия затвердевшего поризованного раствора больше влияет, как и ожидалось, расход цемента, содержание золы-уноса, карбонатного песка, в качестве наполнителей и карбонатного песка, как заполнителя. Сочетание кварцевого заполнителя и карбонатного или глиняного наполнителя дают наименьшие значения прочности на сжатие. Глиняный наполнитель целесообразно сочетать с карбонатным заполнителем, ограничивая содержание первого в пределах 5-10% от общей массы сухих компонентов. Зола-унос в сочетании как с карбонатным, так и кварцевым заполнителем дает положительное влияние на увеличение прочности поризованных растворов (в среднем до 5 МПа), однако при использовании карбонатного песка прочность выше на 1,5%. Введение в сухую смесь в виде наполнителя кварцевого песка в пределах 10-30%, известнякового песка – 15-30% при использовании известнякового заполнителя позволяет получить прочность образцов 4.-9 МПа.

Исследованиями установлено, что больше всего на значение прочности на изгиб до 5 МПа влияет увеличение содержания наполнителя из кварцевого песка – до 30%, золы-уноса – в пределах 15-20%, известнякового песка – в пределах 5-10% в сочетании с заполнителем из известнякового песка. Все остальные комбинации сочетания заполнителей и наполнителей дают значение прочности на изгиб в пределах 1,5-3 МПа. Самыми низкими они являются при использовании кварцевого песка, как заполнителя, с известняковым наполнителем (прочность падает до 0,5-2,5 МПа).

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что свойства поризованных ССС зависят от типа минерального наполнителя. Так, молотый кварцевый песок, как и известняковый песок из твердых кристаллических известняков, проявляют абразивное воздействие на клинкерные частицы цемента – повышают их дисперсность. Однако кварцевый песок является

в основном инертным материалом, в то время как карбонаты могут служить активным наполнителем.

Влияние глинистых минералов на свойства ССС зависит от химического состава глины и ее дисперсности. Целесообразно использовать пластичные глины с удельной поверхностью, близкой к  $S_{уд}$  цемента. Также глины являются сорбентами, которые могут впитывать в себя избыточную воду при замесе и легко отдавать в процессе гидратации смеси. Зола-унос требует предварительной активации, так как без нее остается, в основном, инертным компонентом раствора. Поэтому целесообразно использовать наполнители и заполнители на основе отходов известняковых карбонатных пород для сухих строительных смесей, поризованных ПАВ

## 8.10 Экологическая концепция инженерных решений в архитектуре жилого комплекса

В условиях мирового энергетического кризиса стратегический курс в архитектурных проектах на энергоэффективность, ресурсосбережение, экологическую безопасность приобретает особую актуальность и научно-практическую значимость. Энергосберегающие технологии в архитектуре обеспечивают с помощью композиционно-планировочных и конструктивно-технических мероприятий, которые направлены на рациональное использование энергетических и топливных ресурсов. Энергоэффективные дома на 15% дороже в строительстве, но на 60-70% дешевле в эксплуатации [377].

Проекты зданий на основе принципов «зеленой» архитектуры можно рассматривать как качественный новый уровень экологической культуры человека, отношения к природным ресурсам и окружающей среде. Понятие биопозитивное здание предполагает энергоэффективное комфортное жилье, построенное из экологически чистых материалов, с независимыми системами жизнеобеспечения (энерго-, тепло-, водоснабжение) за счет использования природных ресурсов (дождь, ветер, солнечное излучение); энерго- и ресурсосбережение и утилизацию продуктов жизнедеятельности человека [378].

Эко-архитектура или устойчивая архитектура – это архитектура, которая предусматривает минимизацию негативного экологического воздействия зданий на окружающую среду и формирования благоприятного микроклимата городов [379]. Современная технология градостроительства с применением «зеленой архитектуры» включает новаторские приемы вертикального и горизонтального озеленения домов и является нетривиальной концепцией энергоснабжения и теплообеспечения. Вместе с тем, основная функция зеленых насаждений в городской среде - это средство для улучшения состава воздуха, снижения его загазованности и запылённости, полезной ионизации воздуха, оригинального и красивого дизайна зданий [378].

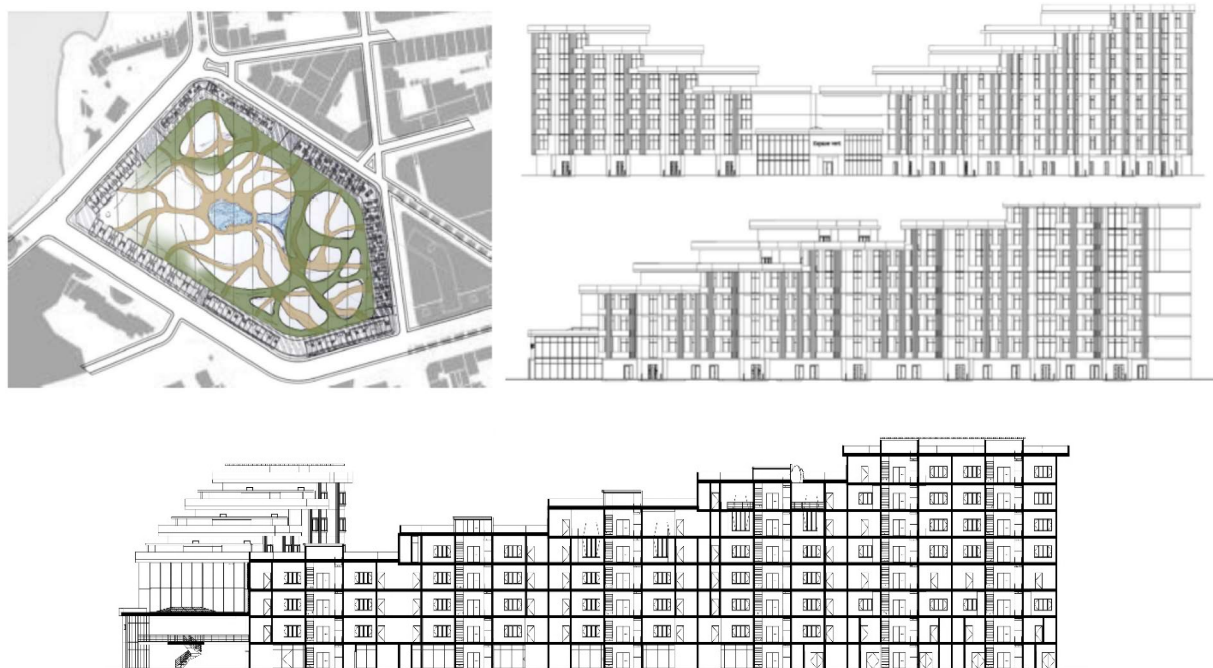


**Целью исследования** является создание проекта биопозитивного и энергоэффективного жилого комплекса с использованием природных ресурсов южного города (г. Марсель).

**Объект исследования:** объектом исследования является проект многоквартирного комплекса «Социальное жилье для молодежи и молодых семей» во Франции, г. Марсель.

**Научная новизна.** В проекте использованы инновационные приемы на основе требований экобезопасности, которые обеспечат энергоэффективность и ресурсосбережение объекта.

Участок для строительства многоквартирного комплекса «Социальное жилье для молодежи и молодых семей» находится во Франции в г. Марсель и расположен на территории бывших военных казарм в историческом центре города. Проект здания социального жилья выполнен реальной подоснове. Он предусматривает сооружение современного, высокотехнологичного сооружения с набором жилых и коммерческих функций в г. Марсель. Здание проектируется в соответствии к требованиям инсоляции и ветрового режима г. Марсель (рис.1,2).



*Рис. 1. Генеральный план жилого комплекса*

Расчеты для проекта проводились по нормативным документам с учетом рациональных энергоэффективных планировочных решений застройки. Принятые меры будут способствовать созданию благоприятного микроклимата внутри объекта и обеспечат достаточную инсоляцию территории и помещений.



*Рис.2. План типового этажа здания с двусторонним расположением квартир на северо-запад и юго-восток*

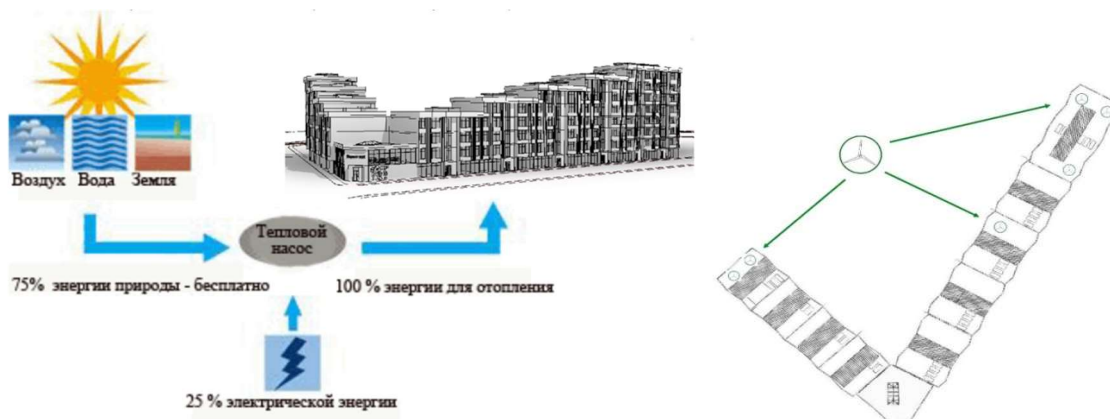
По результатам расчетов проекта здания и на основании оценки территории проектируемого участка, были сделаны выводы и приняты соответствующие конструктивно–планировочные решения. Все мероприятия, касающиеся энергосбережения и теплозащиты, основаны на требованиях нормативных документов. Запроектирована ветрозащита, солнцезащита и защита от перегрева.

Фасадное остекление мультифункциональное стекло Guardian SunGuard SN Super Neutral 70/35, обеспечит защиту помещения от перегрева, необходимую инсоляцию и освещенность (рис. 3). Согласно расчетам светопрозрачная ограждающая конструкция Guardian SunGuard может быть использована в качестве ограждения в г.Марселе, так как обеспечивается необходимое сопротивление теплопередаче в данном климате. Площадь светопрозрачных ограждений не превышает величин, регламентируемых действующими нормами.



*Рис.3. Фасадная часть проектируемого объекта*

В проект заложены энергосберегающие альтернативные источники электроэнергии на основе солнечной, ветровой, тепловой энергии. Учитывая теплый климат территории, было принято решение установить геотермальный тепловой насос. Так как в г. Марсель солнечных дней гораздо больше, чем холодных, почва прогревается до требуемого для работы насоса уровня. (рис. 4).



*Рис. 4. Энергосберегающие источники электроснабжения:*

*а) принцип работы теплового насоса; б) расположение ветровых установок на крыше.*

Достоинствами теплового насоса являются: работа в режимах отопления и охлаждения; принцип геотермии не требует обязательно большой площади поверхности земли; установка незаметная визуально, а также акустически; высокая производительность (рис. 4а). Такое решение было обусловлено

особенностью города Марселя. В этом городе отсутствуют «отопительные сезоны». Отопление осуществляется лишь за счет электрических приборов, установленных самостоятельно в каждой квартире. Использование теплового насоса обеспечит жильцов дополнительным источником тепла при невысоких материальных затратах.

Еще одна особенность г. Марселя - сильные и порывистые ветры («мистрали»). Такие ветра свойственны всему Лазурному побережью, в том числе, Провансу. Это позволило установить на крыши здания ветровые генераторы (рис.4б). Такое решение снизит материальные расходы, что улучшит качество жизни людей с низким социальным уровнем, для которых предназначен проект в целом.

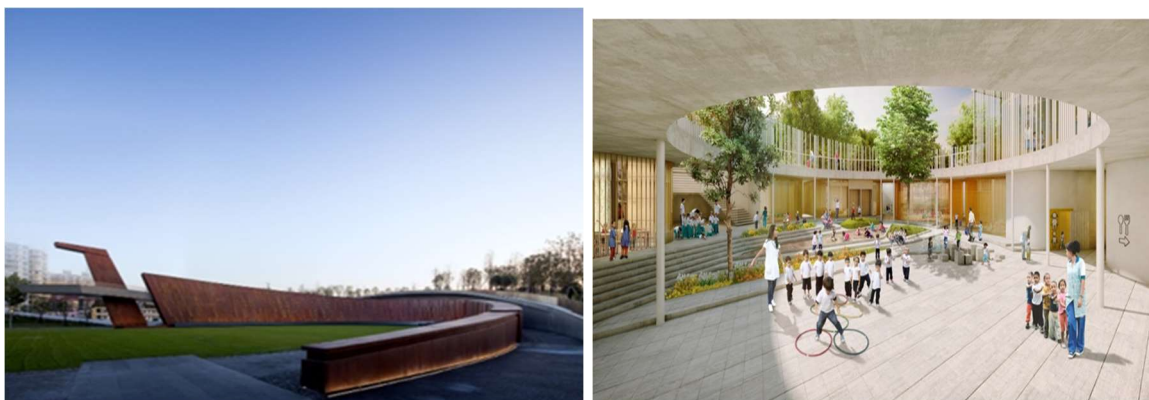
Как источник дополнительной энергии и в качестве декора в проект заложены вертикальные солнечные панели (рис. 5). Исходя из климатического заключения, были использованы деревянные вертикальные панели. Солнечные панели обеспечивают дополнительный приток света в помещениях благодаря своей частичной прозрачности; обеспечивают терморегуляцию внутри здания; придают эстетичный вид внешней части архитектурной конструкции. Крыши жилых домов оборудованы солнечными элементами, что также снижает потребление энергии и стремится к «пассивному дому».



*Рис.5. Фасадные системы с оснащением солнечных панелей*

В качестве инновационного приема проектом предусмотрено широкое использование зеленых насаждений. В зеленой зоне используют растения, которые препятствуют выветриванию и разрушению почв. Особенностью проекта является создание сада и зоны отдыха на крыше. Это благоприятно

повлияет на долговечность здания и здоровье жителей. Исходя из того, что рельеф территории разной высоты, было принято решение запроектировать террасирование в виде двухуровневого парка (рис.5).



*Рис.5. Проект двухуровневого парка*

В ходе исследования и изучения озеленения проектов городской застройки, было принято решение использовать в жилом комплексе фитопанели, зеленые крыши, частичное озеленение фасадов. В проекте заложены фитопанели, которые расположены в сторону моря на самых больших площадях. Их использование создаст дополнительную шумоизоляцию, улучшит воздухообмен, очистит воздух от пыли и углекислого газа, улучшит внешний вид. Прием фасадного озеленения создает иллюзию зелёного окружения, позволяет преодолеть монотонность городской застройки. Такое решение стен снизит их перегрев, скроет изъяны застройки или, наоборот, подчеркнет ее значимые элементы.

В проекте предусмотрено использование озеленения крыш и веранд (рис. 6). Экологический эффект зелёных крыш следующий: в летнее время кровля не перегревается; выравнивается суточный температурный режим кровли; в зимнее время она является дополнительным утеплителем; снижает запылённость атмосферы; защищает конструкции кровли от ультрафиолетовых лучей; снижает электромагнитные излучения; является шумозащитой; повышает общую влажность воздуха; выступает естественным фильтром дождевой воды; поглощает углекислый газ и вырабатывает кислород; продлевает срок службы конструкций. При устройстве зеленой крыши основной задачей стало снижение

общего веса кровельной конструкции. Схема кровельного покрытия для устройства зеленой крыши приведена на рис. 6.



*Рис.6. Благоустройство зеленых крыш, проектируемого объекта*

Оранжереи в жилых комплексах являются составной частью современного строительства. Оранжерея в данном проекте жилого комплекса позволит решить цель «зеленого» строительства – улучшить качество окружающей среды (рис. 7). Насыщенный кислородом воздух из теплиц вентиляторами подается в окружающие здания, а насыщенный диоксидом углерода теплый воздух из зданий вытяжными вентиляторами - в теплицу.



*Рис. 7. Оранжерея ЖК*

**Выводы.** Высотные здания и сооружения являются одним из явлений мегаполисов, которые оказывают агрессивное влияние на экологию. Разработан проект биопозитивного и энергоэффективного жилого комплекса с использованием природных ресурсов южного города (г. Марсель).

Конструктивно-технологические расчеты проектируемого здания выполнены с учетом требований энергосбережения. В проекте применяются установки на основе использования природных источников энергии: солнечные батареи, ветрогенераторы, геотермальный тепловой насос. Разработаны архитектурно-планировочные решения комплекса мер по озеленению многоэтажного комплекса (фасадов, крыш здания, зеленые зоны отдыха, оранжерея). Это позволит улучшить состояние микроклимата внутри здания, выполнит солнцезащитные, шумозащитные функции. Озеленение здания использовано как эффективный способ минимизировать негативное давление на экологическую составляющую городской среды. Применение концепции «зеленого» домостроения для многоквартирного жилого комплекса обеспечит благоприятный психо-эмоциональный эффект контакта людей с природой.

## 8.11 Моделювання харчових композицій кулінарної продукції

Важливою складовою розвитку закладу є створення нової продукції, яка користується попитом, та кваліфікований персонал, який може створити таку продукцію та генерувати нові ідеї, враховуючи при цьому важливі етапи технологічного процесу [380,392,395,397]. Знання структури інгредієнтів, способів приготування, калорійності, смаку, органолептики страви та ін. – невід’ємна складова якості страви і роботи персоналу кухні.

Початком діяльності будь-якого закладу ресторанного господарства є розробка меню, що обов’язково має бути живим. В основі - орієнтація на задоволення потреб різних категорій споживачів: тих, хто постійно бажає спробувати щось нове, і тих, хто повертається за своєю улюбленою стравою.

Сучасна наука про харчування розглядає їжу не тільки як джерело енергії, а також як важливий фактор різного роду біологічно – активних речовин, що беруть участь в регулюванні різних функцій та систем організму людини.

В останній час на світових просторах користуються попитом профілактичні продукти, що мають підсилюючу дію укріплення захисних сил організму зниження ризику дії токсичних сполук. За допомогою спеціальної технологічної обробки та додатковим включення в рецептуру профілактичних добавок забезпечуються кращі якості і харчова цінність страв, а також надання їм спеціального і лікувально-профілактичного профілю.

Технологічні особливості збагачення традиційних харчових продуктів залежать від рецептурного складу та агрегатного стану харчової системи, підданої збагаченню; фізичних і хімічних властивостей (включаючи термічну стійкість) збагачувальних інгредієнтів, технологічних умов отримання готового харчового продукту. Вибір конкретного збагачувального інгредієнта або їх комбінація має здійснюватися з урахуванням їх сумісності між собою, а також із іншими інгредієнтами, які входять до складу харчового продукту. Обов'язковим має бути виключення погіршення органолептичних властивостей або



імовірності небажаних взаємодій, які здатні гальмувати виявлення біологічної або фізіологічної активності введених інгредієнтів [381,383,384].

Одним з напрямлень розвитку і удосконалення солодких страв в закладах ресторанного господарства, пов'язаними з концепціями здорового харчування є виробництво продуктів зі складом рослинної сировини, що характеризується високим вмістом біологічно-активних речовин. [384,385,386,387,388,389,390,391,392,393,394,399,400].

Приємним завершенням будь-якої трапези є солодкі страви. Важливе місце серед яких завдяки високим смаковим якостям, ніжній повітряній консистенції і зовнішньому вигляду займають жельовані солодкі страви – самбуки. На жаль ці кулінарні вироби є висококалорійними з низьким вмістом нутрієнтного складу, тому актуально постає питання розширення асортименту, пошуку нових рецептурних компонентів та режимів обробки з метою задоволення не тільки смакових властивостей, але і попиту на продукцію функціональної дії.

Проведений комплекс теоретичних та експериментальних досліджень дозволив визначити авторам направленість і підходи до розробки науково-обґрунтованих технологій десертів типу самбук профілактичного направлення [381,389,392,395,399,400,401]. Авторами було визначено загальні характеристики отримання нового продукту (таблиця 1).

Таблиця 1.

## Інноваційна структура нового продукту

Показник	Характеристика
Об'єкт як система дослідження	Технологія групи десертів
Актуальність	Покращення споживчих властивостей десертів; Підвищення харчової цінності; Збільшення / розширення існуючого асортименту.
Проблемний елемент системи	Фізико-хімічні показники (в'язкосте, густина, кислотність, вмісте біологічно-активних речовин), органолептичні показники та ін.
Варіант вирішення	Використання нетрадиційного для десертів рослинної сировини.

Продовження таблиці 1.

Найменування продукту	Купажні напівфабрикати ягідні, фруктові, овочеві.
Концепція продукту	В основі купажних напівфабрикатів лежить збагачення десертів корисними нутрієнтами, що обумовлює покращення органолептичних показників і підвищення харчової та біологічної цінності. Купажні напівфабрикати є готовими напівфабрикатами, технологічні властивості яких дозволяють використовувати їх в якості основи для солодких страв.
Цільовий сегмент	Для використання широкого кола споживачів.
Конкурентні переваги	Продукт функціонального призначення, має збалансований склад БАР.
Органолептичні показники продукту	Купажний напівфабрикат має однорідну напівгусту консистенцію, колір притаманний сировині, рівномірний по всі поверхні, смак і запах чисті.
Асортимент	Формується за рахунок варіативних компонентів плодово-ягідної сировини.

Враховуючи призначення та структуру десертів, при розробці технології виникла необхідність провести аналіз технологічних функцій основних компонентів та скоригувати рецептурний склад, що дозволить створити нові нові види десертів збагачених БАР, представлено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Функції структуроутворюючих компонентів та систем

Склад стабілізаційної системи	Технологічна функція
Купажний напівфабрикат	Стабілізація піни, гелеутворення
Сухий яєчний білок	Піноутворення
Глюкозно-фруктозний сироп	Підсолоджувачі, стабілізація пін
Вода	Відновлення , розчинення

Виробництво десертів потребує контролю якості на протязі всього технологічного процесу виготовлення. Якість продукції формується на стадії її розробки та закладається в нормативну документацію. На стадії виробництва забезпечуються необхідні умови для збереження властивостей сировини,

надання продукту бажаних технологічних та органолептичних властивостей. Забезпечення необхідного рівня якості залежить від чіткості сформульованих в технологічних картах параметрів.

Авторами було проаналізовано (за допомогою діаграми Ісікава, рис.1) основні фактори, що формують якість десерту. Такий підхід представляє собою графічний спосіб дослідження і визначення причино-наслідкових зв'язків та дає можливість виявляти ключові взаємозв'язки між різними факторами першого порядку: сировина і матеріали, технологія виготовлення та режими процесів, використання устаткування, кваліфікація персоналу і термін реалізації технологічного процесу.

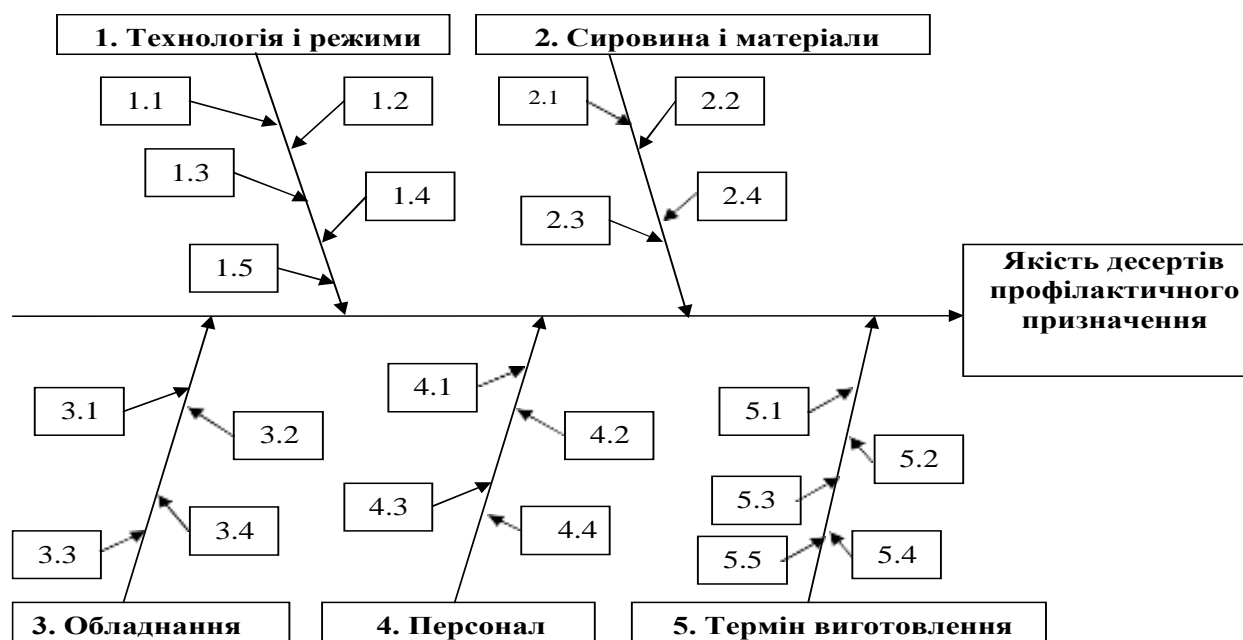


Рис. 1 – Причинно-слідча діаграма формування якості десерту(діаграма Ісікава), фактори другого рівня: 1.1 – збереження рецептури; 1.2 – послідовність внесення компонентів; 1.3 – збереження дозування компонентів; 1.4 - параметри технологічних процесів; 1.5 - санітарно-гігієнічні умови; 2.1 – якість основної сировини; 2.2 – якість купажного напівфабрикату; 2.3 – якість допоміжної сировини; 2.4 - збереження умов зберігання сировини; 3.1 – технічне оснащення підприємства; 3.2 - потужність ліній; 3.3 - справність устаткування; 3.4 – визначення точок контролю; ; 4.1 – кваліфікація персоналу; 4.2 – досвід

працівників; 4.3 – дисциплінованість персоналу; 4.4 – умови праці; 5.1 – своєчасна підготовка компонентів; 5.2 – своєчасність прийому замовлень; 5.3 – присутність яблук; 5.4 – присутність ягідної сировини; 5.5 – присутність глюкозно-фруктозного сиропу.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень, використовуючи сучасні підходи до створення багатокомпонентних харчових систем на основі способів харчової комбінаторики з використанням математичного моделювання було створено інноваційні десерти типу самбук на купажних напівфабрикатах, представлено в таблиці 3.

На підставі цього принципу було сформовано показники, які дозволяють оцінювати нутрієнтний склад та його збалансування в моделюючому продукті.

Аналіз характеристик обраної пари інгредієнтів і обґрунтування вибору найкращого варіанта за обраним критерієм якості проводили як розрахунок масиву даних – сукупності значень критерію якості, залежно від кількісного співвідношення складових у парі інгредієнтів. Для цього обрали множину вузлових точок  $c_m, m = 1, 2, \dots, m_0$  – значень співвідношення вмісту складових, взятих з певним відсотковим дискретом (кроком). Величина дискрету  $i$ , відповідно, кількість вузлових точок  $m_0$  в загальному залежить від діапазону значень і практичної значущості величини дискрету.

У проведених розрахунках враховували відкриті дані щодо вмісту вітамінів  $A_1, B_1, B_2, B_3, B_6, B_9, C, PP$  і мінеральних елементів – заліза, калію, кальцію, магнію, марганцю, міді, цинку та селену в окремих складових інноваційного десерту.

Таблиця 3.

Моделювання складу купажних пар

Компоненти	Кількість основних компонентів у купажній парі									
	Яблуко (А), %	70	0	30	35	40	45	50	55	60
Фруктово-ягідна сировина (В), %	0	70	40	35	30	25	20	15	10	5

Так, для купажної пари «яблучне пюре – бананове пюре» (як приклад проведених розрахунків) було сформовано вектор складових [395] інноваційного продукту (для варіанта  $m = 2$ ; А – 30 %, В – 40 % ).

Для розрахунку значень критерія якості  $f(c_m)$  використовували засоби комп'ютерної системи Mathcad.

Отримані модельні математичні системи використовували при складанні рецептурних композицій та приготуванні десертів з новими купажними напівфабрикатами (КПф). Характеристики вироблених десертів визначали в умовах технологічної лабораторії кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції.

Таблиця 4.

Розрахункове співвідношення вмісту основних складових у купажній парі

Співвідношення компонентів у купажній парі (в частинах)									
М	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_1(m)$	0.0	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
$x_2(m)$	0.70	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
$c_m$	0.0	0.75	1.0	1.33	1.8	2.5	3.67	6.0	13.0

Для обраного переліку вітамінів ( $i = 1, \dots, 8$ ) сформували вектори даних щодо кількості вітамінів (мг) у 100 г кожної складової інноваційного продукту і позначили, відповідно: в яблучному пюре –  $av$ , в журавлиновому пюре –  $bv$ , крім того, а інших рецептурних компонентах, а саме – в желатині, яєчному білку, воді, відповідно –  $zhv$ ,  $biv$ ,  $vv$  (в 100 г продукту).

Для обраного переліку мінеральних елементів ( $i = 1, \dots, 8$ ) сформували вектори даних щодо кількості мінеральних елементів (мг) у 100 г кожної складової інноваційного продукту: в яблучному пюре –  $am$ , в банановому пюре –  $bm$ .

Крім того, враховували вміст вітамінів і мінералів (мг) в інших компонентах, які входили в рецептуру десерту, і позначили вектори вмісту

мінералів – у цукрі, желатині, яєчному білку, воді, відповідно, – см, жм, бім, вт (у 100 г продукту), таблиця 5.

Таблиця 5.

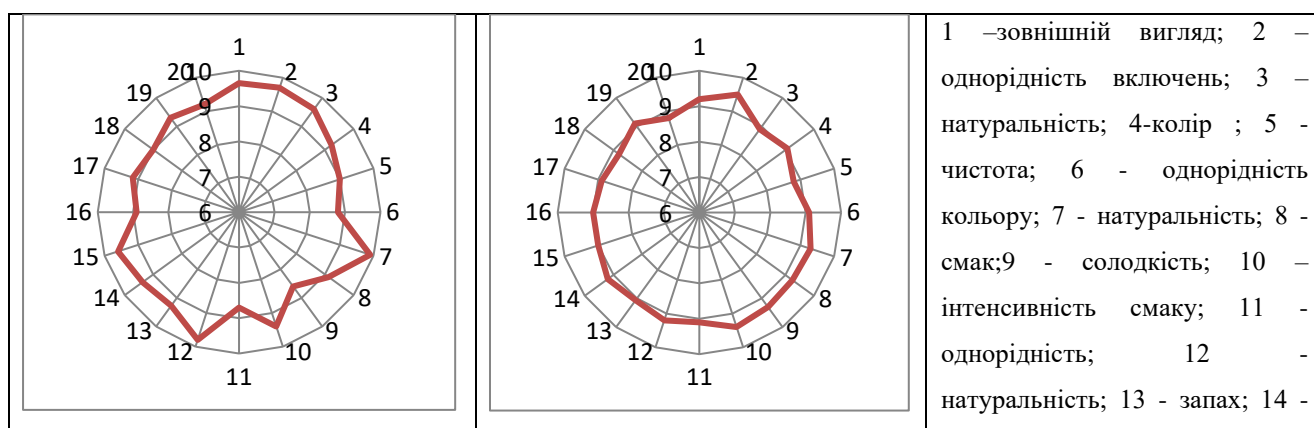
Розрахункове співвідношення вмісту основних складових у купажній парі «Яблуко–журавлина»

БАР	Купажні пари, мг/100 г								
	70:0	0:70	30:40	35:35	40:30	45:25	50:20	55:15	60:10
Вітаміни	174,60 2	62,595	110,598	118,598	126,599	134,599	142,6	150,6	158,601
Мінеральні речовини	217,944	43,633	118,338	130,789	143,239	155,69	168,141	180,592	193,043
Сума	392,546	106,227	228,935	249,387	269,838	290,29	310,741	331,192	351,644

Такий підхід також було використано для дослідження характеристик інших модельних пар інгредієнтів збивного десерту на основі яблучного пюре.

При проведенні оцінювання органолептичних показників десертів, встановлювали критичний ліміт для дескрипторів в 6,0 балів, а значення дослідних показників з оцінкою нижче 4,0 (які не відповідають вимогам нормативної документації і не представляють наукового інтересу) не враховували.

Отримані експериментальні дані, використовували для побудови діаграми критерію «багатокутник якості», яка забезпечує візуалізацію вибору оптимального зразку [396,397] та розрахунку середнього балу та рейтингу зразків.



А-Яблуко-журавлина	Б-Яблуко (контроль)	чистий; 15 - виразний; 16 - збалансованість; 17 - консистенція; 18-густина; 19- вязкість; 20-плиність.
Рис. 2– Профілограми органолептичних показників інноваційних десертів		

Всі дослідні зразки підлягали дегустації, та оцінювалися за розробленими дискреторами, що представлено на рис. 2. Оцінка рівня якості інноваційної продукції — це порівняння сукупності показників якості цієї продукції з відповідною сукупністю показників базового зразка. За базовий зразок нами було прийнято реально досягнуту сукупність значень показників якості продукції, в даному випадку значення показників десерту на яблучному шюре, що прийнятий до порівняння.

Для визначення рівня якості розроблених зразків використовували комплексний метод. Всі значення фізико-хімічних показників отриманих модельних зразків самбуків переведено у бали. Під час перерахунку, за найкращий показник (тобто, який би дорівнював максимальним 10 балам) приймали конкретні значення, з найкращими технологічними показниками окремого показника

Враховуючі вище наведені дані можна зробити наступні висновки:

- для прогнозування вмісту біологічно-активних речовин в запропонованих десертах, доцільно використовувати результати математичного моделювання складу купажних пар з ягідно-фруктовою сировиною;

- за результатами органолептичної оцінки досліджуваних зразків збивних десертів, слід зазначити, що використання купажних напівфабрикатів у інноваційних технологіях десертів призводить до покращення споживчих характеристик страви;

- за рахунок прийнятих технологічних рішень, розроблені збивні десерти можна рекомендувати в профілактичному та дієтичному харчуванні, що дозволить розширити існуючий асортимент.

Практичне значення одержаних результатів виявляється у можливості використовувати запропоноване моделювання нових рецептур та у впровадженні їх у закладах ресторанного господарства.



## SECTION 9. MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING

### 9.1 Analysis of contact strength and linear wear of straight-toothed metal-polymer gear train

Metal-polymer gears are widely used in mechanical engineering, instrumentation and other industries. However, it should be noted that the methods for calculating the wear and life of metal-polymer gears with wheels of dispersion-reinforced polymeric materials are not sufficiently developed. The calculation of the durability during wear of a cylindrical gear with a polyamide wheel reinforced with glass or carbon fibers is described only in [402], under the assumption of a linear dependence of abrasive wear on the friction path [403]. A significant effect of the volumetric content of the filler is predicted on the contact pressure in the engagement, wear and durability of the transmission.

The partial results of both experimental studies of polyamide composites and the calculation of the contact and bending strength of metal-polymer spur gears are given in [404–408]. So, the effect on contact and bending stresses in a cylindrical spur metal-polymer gear with a PA66 polyamide wheel was studied in [404, 405]. Accordingly, the maximum contact pressures and sliding velocities of the same gear with PA6 – S355J2 steel wheels were evaluated in [406]. In works [407, 408], experimental studies of volumetric teeth wear in abrasive and without for metal-polymer gears were carried out: polyamide PA6-Mg, PA6-Na, PA66GF-30, polyoxylene POM-S - steel S355.

Results on experimental studies of the wear of polymer composite materials used in metal-polymer gears [402, 409–411] indicate that their destruction during friction without lubrication occurs by the fatigue rather than the abrasive wear mechanism. However, methods for calculating gears with metal wheels [403, 412–421] are also based on the Arhard abrasive law of wear, although this type of wear is practically not observed in the absence of an abrasive medium. In this regard, the urgent problem is the development of effective methods for calculating the wear and life of both metal-

polymer and conventional gears, taking into account the real mechanisms of the process of their wear.

A method for calculating the bearing capacity and tribotechnical characteristics of various (spur and helical cylindrical and bevel, as well as worm) gears is presented in [423-426] on the assumption of a fatigue wear mechanism.

The method used, based on a mathematical model of the wear process during sliding friction [422], is described in detail in a number of works [22–25 and others]. The resulting relationships of this method are presented below.

As is known, sliding friction with rolling takes place in gearing. The highest sliding speed is achieved at the entrance and exit of the teeth from the meshing, and it is equal to zero (pure rolling of conjugated involute tooth profiles is realized) in the meshing pole. Given the characteristics of the contact interaction of the teeth, the linear wear  $h'_{kj}$  of the teeth in one revolution at an arbitrary point  $j$  of the working profile is determined by the formula [429].

According to [429]  $h'_{kj}$  is calculated by the formula:

$$h'_{kj} = \frac{v_j t'_j (fp_{j\max})^{m_k}}{C_k \tau_S^{m_k}}, \quad (1)$$

where  $t'_j = 2b_j / v_0$ ,  $v_0 = \omega_1 r_1 \sin \alpha$ .

Hertz formulas are used to determine  $p_{j\max}$  and  $2b_j$

$$p_{j\max} = 0.564 \sqrt{N'\theta / \rho_j}, \quad 2b_j = 2.256 \sqrt{\theta N' \rho_j}, \quad (2)$$

where  $N' = N / bw$ ;  $\theta = (1 - v_1^2) / E_1 + (1 - v_2^2) / E_2$ ;  $\rho_j = \frac{\rho_{1j} \rho_{2j}}{\rho_{1j} + \rho_{2j}}$  [423, 424,

429].

A ratio is used to calculate sliding speed

$$v_j = \omega_1 r_{b1} (tg \alpha_{1j} - tg \alpha_{2j}), \quad (3)$$

where  $\alpha_{1j} = arctg(tg \alpha_{10} + j \Delta \phi)$ ,  $tg \alpha_{10} = (1 + u) tg \alpha - \frac{u}{\cos \alpha} \sqrt{(r_{20} / r_2)^2 - \cos^2 \alpha}$ ,

$r_{b1} = r_1 \cos \alpha$ ,  $r_1 = mz_1$ ,  $r_2 = mz_2$ ,  $r_{20} = r_{a2} - r$ ,  $r = 0,2m$ ,  $\alpha_{2j} = arccos \left[ \left( r_2 / r_{2j} \right) \cos \alpha \right]$ ,

$$r_{2j} = \sqrt{a^2 + r_{1j}^2 - 2ar_{1j} \cos(\alpha - \alpha_{1j})}, a = (z_1 + z_2)m / 2, r_{1j} = r_1 \cos \alpha / \cos \alpha_{1j}.$$

The transmission durability at initial contact pressures  $p_{j\max} = \text{const}$  at selected points  $j$  of tooth profiles was calculated. The durability  $t_*$  of the gearing for the accepted allowable tooth wear  $h_{k*}$  is calculated as follows:

$$t_* = h_{k*} / \bar{h}_{kj}, \quad (4)$$

where  $\bar{h}_{kj} = 60n_k h'_{kj}$ .

Since the transmission implements two – one – two-pair gearing, respectively, the angles of transition from two-pair to single-pair gearing and again to two-pair gearing, as well as the angle of the teeth coming out of gearing in a cylindrical spur gear, are set in accordance with the recommendations [423, 426].

Cylindrical metal-polymer gear transmission with straight involute teeth were considered: direct one – “steel gear – composite wheel” (G(S)–W(C)), reverse one – “composite gear–steel wheel” (G(C)–W(S)).

As is known, sliding friction with rolling takes place in gearing. The highest sliding speed is achieved at the entrance and exit of the teeth from the meshing, and it is equal to zero.

Wheel materials are:

1) steel 45 in the delivery state (GOST 1050-88), grinding,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa,  $\mu = 0.3$ ;  $C_1 = 10^9$ ,  $m_1 = 2$  according to [427];

2) carbon-filled polyamide PA6+30% CF,  $E_y = 5.2$  GPa,  $\mu_y = 0.42$ ,  $C_y = 4.7 \cdot 10^6$ ,  $m_y = 2.3$  [427]; the volumetric content of the filler is 30%;

3) glass-filled polyamide PA6+30% GF,  $E_c = 3.9$  GPa,  $\mu_c = 0.42$ ,  $C_c = 1.2 \cdot 10^6$ ,  $m_c = 1.9$  [427]; the volumetric content of the filler is 30%.

The initial data for the calculation are:  $T_{nom} = 4000$  Nmm,  $n_1 = 1000$  rpm;  $K_g = 1.2$ ;  $m = 4$  mm,  $u = 3$ ,  $z_1 = 20$ ,  $z_2 = 60$ ,  $b = 50$  mm,  $f_c = f_y = 0.3$ ;  $h_{k*} = 0.5$  mm.

The calculation results are presented in Fig. 1-4. In particular, the diagram in Fig. 1 shows the change in the initial maximum contact pressures  $p_{j\max}$  in engagement for the full cycle of tooth interaction, and the change in maximum contact pressures  $p_{j\max}$

due to wear of the teeth of the composite gear (wheel) to an acceptable value is shown in Fig. 2.

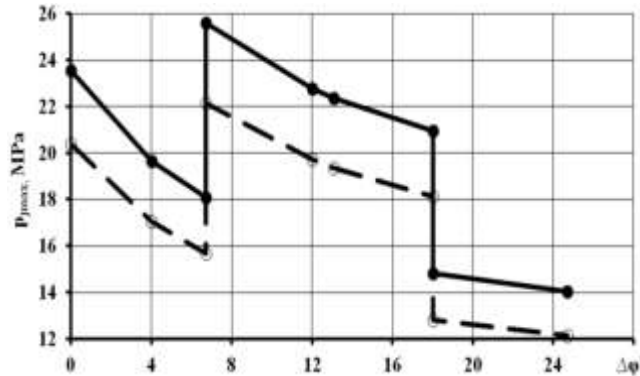


Figure 1. Maximum contact pressure in engagement: light markers – glass-filled composite; dark markers – carbon-filled composite.

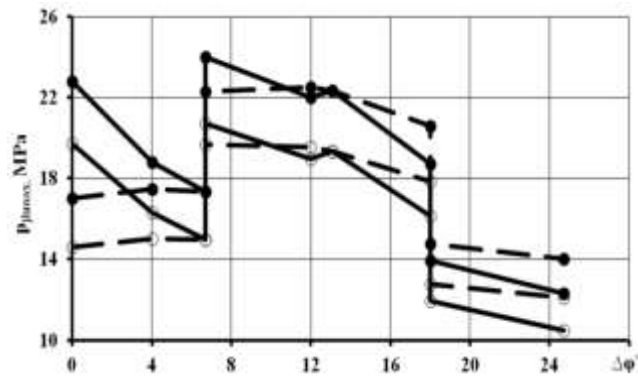


Figure 2. Maximum contact pressures in engagement: solid lines – G(S)-W(C) gear, dashed lines – G(C)-W(S) gear, the designations are the same as in Fig. 1.

Contact pressure  $p_{jmax}$  in the first (initial) phase of two-pair gearing will be significantly higher than that in its third (final) phase, and one in the second (intermediate) phase with one-pair gearing higher than that with two-pair gearing. The highest contact pressure in the mesh occurs at the entrance to the single-pair mesh. The pressure  $p_{jmax}$  in the entire range of variation of the angle of rotation  $\Delta\varphi$  of the gear in a gear with a wheel made of carbon-filled polyamide than that in a gear with a wheel made of glass-filled polyamide.

The wear of the teeth of the composite wheel in the G(S)–W(C) gear leads to a moderate (5–6%) reduction  $p_{jmax}$ , and in the G(C)–W(S) gear, the wear of the teeth of the composite gear quite noticeably reduces the pressure in the first gearing zone, especially at the entrance to two-pair gearing (up to 28%). The pressures in the

transmission G(S)–W(C) at the entrance to the two-pair and single-pair gears, as well as at the gearing pole are quite close.

Linear wear  $h_{1j}$ ,  $h_{2j}$  of the working tooth profiles of the composite gear and wheel, respectively, is shown in Fig. 3. It should be noted that the wear of steel teeth is approximately three orders of magnitude less than the wear of composite gear teeth. Almost equal wear of composite wheels is achieved at the entrance to two-pair and single-pair gearing.

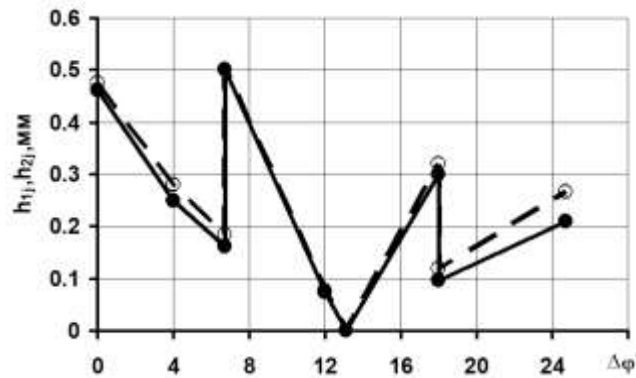


Figure 3. Distribution of linear gear wear in gearing, designations are the same as in Fig. 1.

The significant difference in the wear resistance of the gears G(C)–W(S) and G(S)–W(C) is explained by the different (taking into account the gear ratio) loading frequency of the teeth of the metal wheel and composite gear, as well as increased wear of the latter as a result of increased heat generation.

The effect of the material of the gears of the transmission on the nature of the change in the initial maximum contact pressures  $p_{jmax}$  due to wear of the teeth of the composite wheels is shown in Fig. 4.

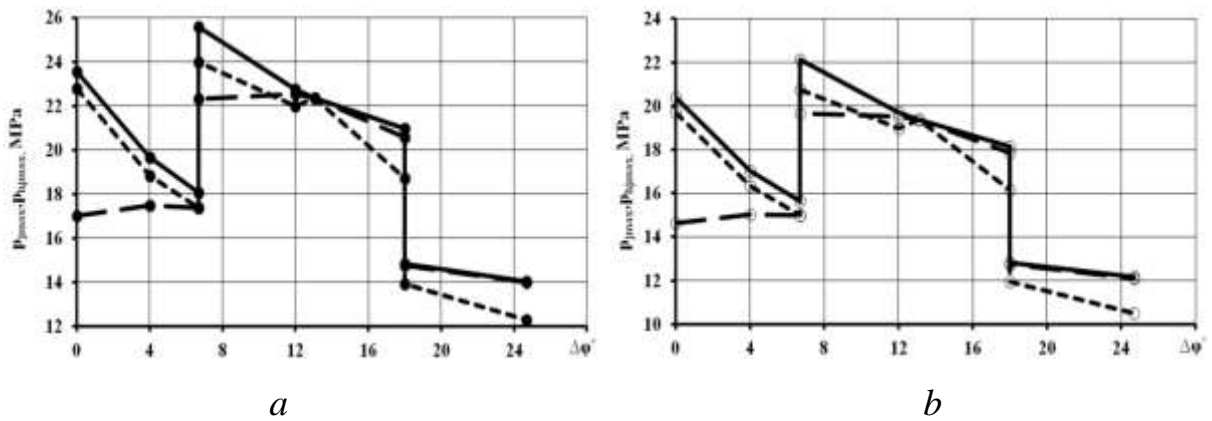


Figure 4. Change in maximum contact pressure  $p_{j\max}$  in engagement: a) a carbon fiber wheel, b) a fiberglass wheel; the solid lines are the pressures  $p_{j\max}$ , the dotted lines are  $p_{j\max}$  in the G(S)–W(C) gears, the dashed lines are  $p_{j\max}$  in the G(C)–W(S) gears.

As noted earlier, contact pressures  $p_{j\max}$  undergo relatively small changes in all phases of gearing in gears G(S)–W(C), and there is a particularly significant transformation in the first phase of gearing, which for both types polyamide composites are clearly visible in the figures in gears G(C)–W(S).

Thus, we can highlight the most important

1. The initial maximum contact pressures  $p_{j\max}$  in a gear with a carbon fiber wheel are approximately 13.5% higher than that in a gear with a fiberglass wheel.
2. The initial maximum contact pressures  $p_{j\max}$  at the two most loaded points — at the input of the teeth into single-pair and two-pair engagement (Fig. 1) — are differ insignificantly (1.08 times).
3. The initial maximum contact pressures in the pole of engagement are lower than those at the entrance to single-pair engagement by 13%. Therefore, in standardized methods for calculating gears, where contact stresses are calculated in the gearing pole, the maximum level of the latter is significantly underestimated.
4. There is a fundamental difference in the degree of influence of the wear of the teeth of the composite wheels on the magnitude of the contact pressures  $p_{j\max}$  in the engagement (Fig. 2, 4). While for a steel gear, this change is insignificant (up to 6%) in the entire cycle of tooth interaction, the wear of the teeth of the composite gear

causes a significant decrease in pressure in the initial gearing zone and, in particular, at the entrance to two-pair gearing (up to 28%).

5. As a result of wear of the composite wheels, the pressure difference  $p_{j\max}$  at the pole and at the entrance to the single-pair and two-pair engagement is insignificant (Fig. 2, 4).

6. The greatest wear of composite wheels is achieved at two gearing moments – at the entrance to a single-pair (allowable wear) and close to it in magnitude – at the entrance to the phase of two-pair gearing (Fig. 3).

## **9.2 Theoretical and practical aspects of energy efficiency of the plant waste grinding process**

The main sources of vegetable waste are agriculture, agricultural processing enterprises and wood processing enterprises. Vegetable waste (sawdust, oats, cotton, rice, sunflower, rape husks, wheat, rice, rapeseed straw, etc.) reach significant sizes [430].

The processing of this type of secondary raw materials is very poorly developed, as a result of which most of the waste is not rationally used. Despite the fact that there are a significant number of ways to dispose of plant waste, the problem of their utilization remains relevant, as existing methods require significant investment and high energy costs for their processing.

One of the advantages of plant waste is its annual renewable, which makes them a promising source of raw materials and energy. Most vegetable waste is subjected to preliminary fine grinding for further use in various enterprises to obtain the final product.

Many researchers have established the feasibility of using crushed vegetable waste in various industries. In particular, the products of fine grinding of vegetable waste can be the final product and can be used for energy purposes [431], as feed in agriculture [432, 433], or be an intermediate product in the production of plastic composites [434, 435], in technology obtaining silicon dioxide [436], silicon carbide [437] and so on.

Grinding processes are one of the most energy-intensive, especially fine and ultra-fine grinding. Therefore, there is a need to develop new shredders or improve them.

For research, the installation of the process of fine grinding of vegetable waste was made. Schematic diagram of the installation is shown in fig.1.





However, in this case, to characterize the mill, it is necessary to indicate the specific energy consumption and dispersion of the material, which complicates the understanding of the actual energy consumption for grinding.

As one of the characteristics of the shredder it is recommended to use the grinding ratio:

$$K_e = \frac{\omega}{i}, \quad (2)$$

where  $i$  – the degree of grinding of the material:

$$i = \frac{D_s}{d_s}, \quad (3)$$

$D_s, d_s$  – the average size of the source and crushed material.

Then

$$K_e = \frac{\omega \cdot D_s}{d_s} = \frac{N \cdot D_s}{Q \cdot d_s}, \quad (4)$$

In fact, the energy consumption factor of the grinder will take into account the characteristics of the grinder, and the initial and final particle sizes.

The energy consumption coefficient of grinding makes it possible to compare different types of shredders with certain specific energy consumption and degrees of grinding.

One of the characteristics of the source and crushed material is the average particle diameter. The average particle diameter can be defined as:

- arithmetic mean:

$$d_s = \sum \frac{d_i}{n} \text{ or } d_s = x_i \cdot d_i \quad (5)$$

where  $d_i$  – the size of the  $i$ -th particle;

$n$  – number of shares;

$x_i$  – the content of the  $i$ -th fraction.

- average surface

$$d_s = \sqrt{\sum \frac{d_i^2}{n}} \text{ or } d_s = \sqrt{\sum (x_i \cdot d_i)^2} \quad (6)$$

- average volume (mass)

$$d_s = \sqrt[3]{\sum \frac{d_i^3}{n}} \text{ or } d_s = \sqrt[3]{\sum (x_i \cdot d_i)^3} \quad (7)$$

In the general case

$$d_s = \sqrt[k]{\sum \frac{d_i^k}{n}} \text{ or } d_s = \sqrt[k]{\sum (x_i \cdot d_i)^k}, \quad (8)$$

where  $k$  – degree,  $k=1, 2, 2,5, 3$ .

The fractional composition of the source or crushed material is represented as integral and differential distribution functions, which are the dependences of the content of a particular fraction on the diameter or particle size. Using the distribution functions, it is possible to determine the average particle diameter by formulas (5-8).

Given the formula (8), the energy consumption factor during grinding is equal to:

$$K_e = \frac{N \cdot \sqrt[k]{\sum \frac{d_i^k}{n}}}{Q \cdot \sqrt[k]{\sum \frac{d_i^k}{n}}} \text{ аёо } K_e = \frac{N \cdot \sqrt[k]{\sum (x_{iD} \cdot D_i)^k}}{Q \cdot \sqrt[k]{\sum (x_{id} \cdot d_i)^k}}, \quad (9)$$

On the basis of the conducted researches at fine grinding of sunflower husk dependences of specific energy consumption (fig. 2) and energy consumption coefficient (fig. 3) on degree of crushing are received.

Based on the results of theoretical and experimental research, designed and manufactured installation of experimental-industrial design (Fig. 4) for fine grinding of plant materials to obtain highly dispersed products from materials such as wheat and rice straw, sunflower, rice, buckwheat husks, etc. (Fig. 5).

Conducted experimental tests at Bio-Fine SA (Moresburg, South Africa) showed the plant's productivity reaches 300 kg/h. The installation allows to obtain grinding products from plant materials with a particle size less than 100 µm to 100% at energy consumption for grinding 250-300 kWh h/t with an energy efficiency factor of 0.95-2.1.

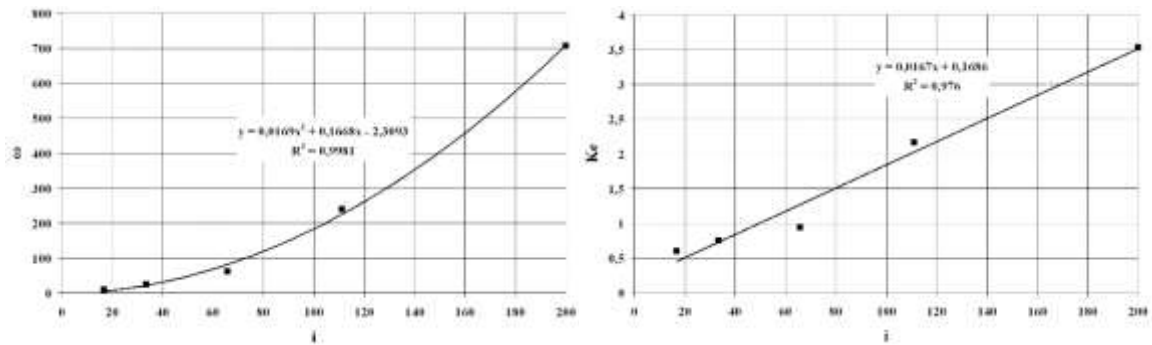


Figure 2. Dependence of specific energy consumption ( $\omega$ , kWh / kg) on the degree of grinding (i).

Figure 3. Dependence of energy consumption coefficient ( $K_e$ ) on the degree of grinding (i).



Figure 4. Installation of fine grinding of vegetable waste.



Figure 5. Examples of materials.

### **9.3 Methodological and criterion bases of the study of the functioning of engineering complexes in the creation of target objects of the construction industry**

To date, studies in the development of working environments have been based on the study of specific laws and did not concern general natural laws, which significantly limited the possibility of creating high-quality models of the functioning of technical complexes for the development of working environments.

The direction of natural processes is determined by the second law of thermodynamics, from which it follows that the entropy of an isolated system can only grow, reaching a maximum in the state of thermodynamic equilibrium of the system. For open systems where there is an exchange with the environment of matter, as well as energy and impulse, entropy can be reduced by replenishing the system with matter and energy and in complex, non-linear, unbalanced and open systems, organization processes can take place when the order of the system grows due to synergistic openness of such systems. Complex processes for the development of working environments are characterized by both directions of flow of the components of these processes. The description of the evolution of systems behind the movements of working environments as degradation processes is proved and scientifically substantiated by the second law of thermodynamics, the evolution of the system in the sense of organization for all its components – synergy.

Thus, the methodology of scientific research is based on the application of the second law of thermodynamics and synergistic processes occurring in the system in a state of thermodynamic imbalance and in a state of its equilibrium [438, 439].

In addition, the effects of the super- and subresonance modes of the synergistic system will also be used, localization of working medium volumes, which is loaded, as well as intellectual correction of organization processes in said synergistic system as in the state of its thermodynamic equilibrium, as well as in a state of imbalance, as well as research on the functioning of these systems by methods of supporting decision-making in the framework of information technology of strategic management, which apply a fuzzy inference model and an expert knowledge base and provide effective

development management in conditions of a priori uncertainty, due to inaccuracy or insufficiency of input data, stochastic nature of environment, use of potential energy of gravitational field taking into account its spatial structure, control of its action in time.

The novelty of approach to carrying out researches consists in synthesis of three components of analytical researches: analytical researches of process of deformation, destruction and movement of working environments in the sense of degradation (non-turnaround destrukturization and dispersion of energy) of the studied system; analytical studies of these processes in the sense of organization without intellectual intervention; analytical studies with intelligent corrective intervention; a new approach that combines the methods of fuzzy and expert systems, the formulation of requirements for new design technology.

Criteria characterizing the efficiency of the systems are specific parameters, the main of which is energy intensity [440].

It should be noted that energy intensity is a relative specific parameter characterizing the efficiency of the machine in terms of reducing energy consumption per unit of production, but it cannot give a complete characteristic of the efficiency of the design of the machine and its operation. There are other criteria that are indicators of the excellence of technical systems, namely, material capacity, volume utilization, which determine the relative efficiency of the machine design. Specific power determines the relative energy saturation of the machine, but it cannot always be judged by the general efficiency of the equipment. Relative specific energy design parameters taken separately do not make it possible to determine the total efficiency of the systems, therefore, a new integral relative specific parameter for assessing the efficiency of the machine is proposed – specific energy-intensive power  $P_{pe}$ , which is the specific power that falls on the unit of energy intensity of the machine and is determined by the ratio of the total power of the machine engines to the production of its mass and energy intensity:

$$P_{pe} = \frac{P}{m \cdot e}. \quad (1)$$

Reduction of power consumption of machine operation and its mass act in one direction to increase overall efficiency of machine.

Currently, the efficiency of machines, in particular primers, is estimated according to two relative specific criteria [441]:

- energy intensity of cutting

$$e = \frac{P}{\Pi}, \quad (2)$$

where  $P$  - be responsible;  $\Pi$  - productivity of machine soil,

- specific performance

$$\Pi_{put} = \frac{\Pi}{P}. \quad (3)$$

The relationship between them is determined from the relation:

$$\Pi_{put} = \frac{1}{e}. \quad (4)$$

Analyzing the dependencies (2) – (4), it can be seen that despite the fact that the formula for determining the specific energy intensity of power is not included in the parameter  $\Pi$ , it nevertheless takes part in assessing the efficiency of the machine, since productivity is indirectly involved in energy intensity. This follows from the comparison of formulae (3) and (4).

From this we can conclude that increasing the parameter  $P_{pe}$  means increasing the productivity of the machine while reducing its mass and energy intensity of soil development.

If you represent the capacity as

$$P = \frac{E}{t}, \quad (5)$$

and energy intensity as

$$e = \frac{E}{V}, \quad (6)$$

where  $E$  – the energy spent on cutting in time  $t$ ,  $V$  – the volume of soil that is developed in time  $t$  and substitute these expressions in (1), then we get

$$P_{pe} = \frac{\Pi}{m}. \quad (7)$$

Let us call this relative specific criterion  $\Pi_{put} = \frac{\Pi}{m}$  specific productivity. It turns out that the criterion determining the performance that falls on the unit of mass of the machine is better than the relative specific energy criteria (2) and (3), because it takes into account both the efficiency of the design of the machine and the efficiency of its working process, as proved by the transformations of formulae (1), (5) and (6), although the energy parameters are not directly and not (7).

Applying universal natural principles, we will define a new universal criterion for the effectiveness of the technical complexes of the construction industry based on the use of the concepts of entropy and information [442].

The relationship between entropy and information Shannon expressed equality:

$$H + Y = 1,$$

where  $H$  – entropy;  $Y$  – information.

From this equality it follows that all non-racial (scattered energy and destructive "garbage") characterizes entropy, and everything useful, characterizes development (purposeful evolution) – information.

In any process, the more entropy is produced, the less information is produced, therefore, the universal criterion for the effectiveness of the complex of technical systems of the construction industry and other systems is the specific entropy:

$$H_n = \frac{H}{V},$$

where  $V$  – quantity of products produced over a certain period of time;  $H$  – production of entropy over the same period of time.

Entropy production determines not only the costs (dissipation) of energy in production, but also the types and origin of this energy, as well as the de-structuring of



the system, technical complexes and their processes – the environment. That is, the design of causes, mechanisms, working bodies of technical complexes and their working processes, as well as the management of this system, should provide a minimum of entropy production with an optimal production volume.

Improvement of operation efficiency of technical complexes of construction industry is achieved due to optimal distribution and control of energy flows, matter (mass) and information for all elements of system technical complexes and their processes – environment. This happens at all stages: scientific research, design, manufacture and management of the system, both on the basis of actual knowledge of the system and through feedback. All these flows are formed both on the reasons, mechanisms and working bodies of technical complexes, and on the processes of interaction of working bodies with the working environment and their own working environment. Entropy is performed at all stages of transmission of these flows [443].

The movement of flows from technical systems to the working environment takes place through a composite element - the processes of interaction of working bodies with the working environment. That is, the flows that come from the technical systems enter the working medium with losses due to the reactivity of the working medium. Parameters of processes of interaction of working bodies with working medium must be formed in such a way quantitatively and qualitatively in time and space in order to minimize reactivity of working medium. In addition, these flows should be differentiated on the cutting elements depending on the deformations and stresses that occur to each point of the cutting zone. This is implemented in tooth designs.

The effectiveness of the target is assessed by information, as well as by entropy production as a result of the operation of the target.

This criterion not only comprehensively determines the effectiveness of the entire complex of subsystems and elements that make up the system, but also imposes restrictions on the limit value of products produced by individual manufacturers. The scheme of transformation and distribution of flows of matter, energy, information and entropy in the functioning of technical complexes for the creation of target objects characterizes the formation of flows of matter (mass), energy, information and entropy

with intelligent correction of the distribution of three parts, which minimizes entropy production and thereby optimizes the functioning of technical complexes with determination of the limitation on the amount of produced products [444].

#### **9.4 Automation of processing results of diagnostic surveys and testing of bearing knots**

Machines and aggregates are subjected to periodic diagnostic examination and testing to determine the technical state of mechanical nodes by methods of non-destructive control. There is a large number of control techniques, but the main condition is to provide reliable test results with minimal energy consumption, which is achieved by the correct choice of control method [445]. The automation of the control process is a major way to eliminating people floating on the results of measurements, as well as ensuring the efficiency of data processing and obtaining results, which increases the energy efficiency of diagnostic methods.

The passive method of thermal non-destructive control is extremely demanded in diagnostic examinations and testing of bearing nodes. The method is performed on a simple method, affordable measuring instruments, operator without special training. This is the only method that allows you to determine the defects of the emerging defects and problems with lubrication. The disadvantage of this method is the duration of time before the control and evaluation of the technical condition of the object. This is because thermal control is carried out in the mode of heating stabilization. The issue of optimizing the passive method of thermal non-destructive control of rolling bearings is important, for the possibility of operating evaluation of the technical condition of the bearing, is important.

The method for determining the rate of heating of rolling bearings and comparing the values received with the range of permissible values of the "BP" criterion [446] allows you to reduce the test time of the bearing node and provide an operational assessment of the technical condition of rolling bearings. This makes it possible to reduce electricity consumption due to the possibility of control equipment at the beginning of the operation of the equipment.

The disadvantage of this method is the need for calculations of heating speed according to the obtained values of the heating temperature of the bearing.

To eliminate this disadvantage and possibilities of application of the method in the automation of the monitoring of the technical condition of the bearings, an application "Bearing" was created. The program is created using Python 3.8.32 programming language and makes it possible to evaluate the technical condition of the bearing node according to two diagnostic parameters: the heating temperature and an additional parameter - the heating speed of the rolling bearing.

The program provides:

- analysis of the operating temperature of the bearing;
- calculation of heating velocity according to the heating temperature obtained;
- analysis of the heating speed of rolling bearing;
- operational assessment of the technical condition of the roller bearing in the mode of regular heating by comparing the heating rate with the heating speed criterion;
- evaluation of the technical condition of the rolling bearing in the mode of heating stabilization by comparing operating temperature with the maximum permissible heating temperature of the bearing.

The Bearing program works on all operating systems of stationary and mobile personal computers and adapted to enter the temperature values every minute. The value of the heating temperature of the outer surface of the bearing knot in the test time is introduced into an e-book in the form of an xlsx file, xls created using the Microsoft Office Excel software complex.

In the input file - an electronic xlsx-book, the number of details is regulated by the number of letters in the book itself (the program provides calculations for each letter). The assessment of the technical condition of rolling bearings is performed by the program automatically for each control bearing that corresponds to one xlsx-book sheet.

Processing of the results of monitoring of bearing nodes is possible in the presence of such hardware:

- a device for measuring the heating temperature,

- an electronic computing machine, or an IBM PC compatible device, or a mobile device with an integrated program.

The control of the heating rate of bearings is carried out at the stage of regular heating, which is individual for each bearing. The program "Bearing" provides a function of setting a time interval in which the heating rate is calculated by the formula (1). In a disordered and stabilized heating mode, the calculation of the heating rate is not carried out, because the disordered heating mode is not suitable for diagnostics, and in a stabilized mode, the heating rate is close to zero.

The heating rate of the bearing is calculated by the formula [446]:

$$\vartheta_h = \frac{\Delta T}{\Delta \tau}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} \quad (1)$$

The duration of control over the diagnostic parameter of heating temperature depends on the normalized time of stabilization of the bearing heating. Data on the normalized marginal temperature in the Bearing program may vary if necessary.

The duration of control over an additional diagnostic parameter of the heating rate depends on the time interval of the regular heating regime, which precedes the mode of heating stabilization. Reduce the processing time of the results of diagnostic surveys, input the temperature data only during the regular heating mode.

If the value of the heating rate is in the range of permissible values of the "BP" criterion

$$\vartheta_h \leq 1,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{min}, \quad (2)$$

the technical condition of the roller bearing was evaluated as workable.

If the heating rate is in the range of inappropriate values of the "BP" criterion

$$\vartheta_h \geq 2 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{min}, \quad (3)$$

the technical condition of the bearing is evaluated as an inequality.

When forming a short report in the form of a text file in the txt format, the technical condition of the bearing is recognized as "suitable" or "unfit" to further use. The conclusion is formed by comparing the received values of controlled parameters with normalized. Manually introduced as a maximum permissible bearing, the value of the heating speed criterion "BP" and the maximum permissible heating temperature.

When forming an expanded report in the form of a text file in xlsx or xls format is recognized as "Itin" or "Log".

Reports are automatically stored in the folder where the input file is located to create a database. The name of the report file corresponds to the name of the input file with the notion of "Report".

Tests of a conical bearing of a worm reducer unit RKXD-63. The press is equipment for manufacturing a continuously-controlled bank for canned fish.

Fish is a perishable product. Therefore, it is important to reveal defects of mechanical units of equipment for uninterrupted feeding packaging for fish products.

Results of tests of a conical bearing roller bearing are indicated in Figure 1.

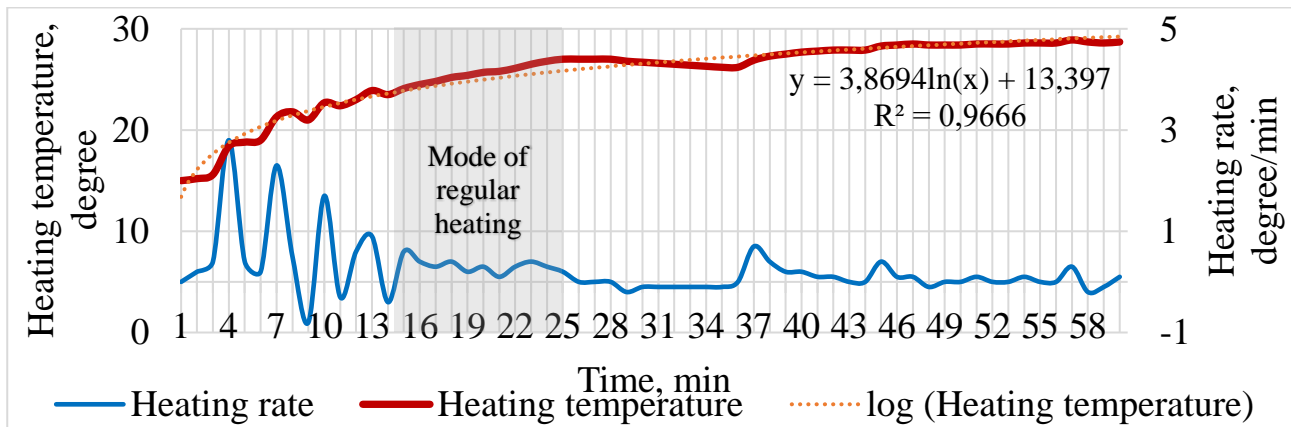


Figure 1. Results of the heating temperature of the conical bearing gearbox

From the graphics in Figure 3, it is evident that in the heating mode of the heating temperature of the bearing reached 27 °C. According to the logarithmic approximation of the graphics of the heating temperature of the heating mode, the regular heating of the roller bearing occurs from 15 to 25 minutes. In a regular heating mode, the rate of heating of a conical roller bearing in a regular heat mode does not exceed 0.8 °C/min.

The use of the Bearing program allows you to calculate and make an operational assessment of the technical condition of the rolling bearing by the heating speed parameter. To determine the maintenance of the bearing in the dialogue (Figure 4), the normalized boundary data depend on the type of bearing: the time interval of the regular heating regime of the bearing, the maximum permissible heating rate, the maximum heating temperature. These data are individual and depend on the size of the

bearing. Indicate the address of the input file to the "Path to File" line and press the "Start" button. After that data processing and a window appears with the information that the report is formed.

In the course of execution of the program, calculating the heating speed of rolling bearings and comparing the received temperature of the temperature and heating speed with normalized formed two reports: shortened - as a text file in txt (Figure 2) and detailed - in the form of an electronic table in xlsx or xls format (Figure 3).

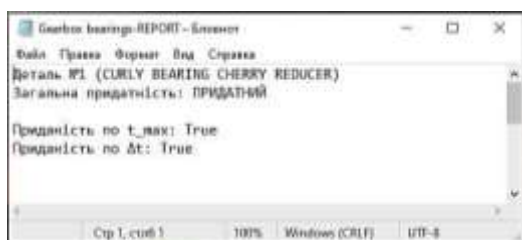


Figure 2. Shortened report

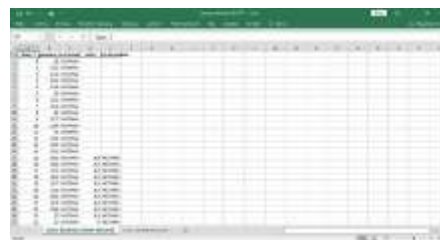


Figure 3. Deployed report

The bearing program allows energy savings from the possibility of stopping the machine or unit at the beginning of the operation of the machine in case of a defect. Also, the program allows you to automate the assessment of the technical condition of the bearing and eliminate the influence of the human factor on the measurement results.

Thus, the introduction of an additional diagnostic parameter of the heating rate makes it possible to increase the energy efficiency of the passive thermal method of non-destructive control. Implementation of automation of the results of diagnostic surveys of bearing nodes allows to eliminate human influence on measurement results and obtain an operational display of the technical condition of the bearing.

## 9.5 Technologies and methods of product protection against counterfeiting

The modern industrial market forces domestic enterprises to increase and often change the range of their products, quickly adapting to the specific requirements of customers. This, in turn, significantly increases the range of technological equipment and processes [447]. Cost-effective productions are key because in most cases security requirements combined with the need to maintain low costs.

Not so long ago, all identification documents were made of cheap and easily accessible materials, such as paper or cardboard, ink. To guarantee the originality of the document and to combat forgery, the paper was made using additional effects: holograms, watermarks, special inks, hidden from the image, etc., to make it as difficult as possible to falsify. However, the protection of these goods was not 100% safe. Therefore, the search for new solutions has not stopped for many years [448].

Among the documents may be fake IDs, real estate documents, diplomas, various certificates, power of attorney, accounting documents, travel tickets, and more. Some of them are performed at a high technical level on professional equipment, including printing equipment [449].

The Branded Products Protection Group (BPG), which includes international companies, has set up its Consumer Hotline. Most complaints, and therefore counterfeits, are found among food (50% of reports). Among them, butter, tea, coffee, canned food, and mineral water are in the lead. In second place in terms of the frequency of counterfeits were household chemicals and personal hygiene products (12% of calls). In third place - drugs and dietary supplements (10%). A large percentage of counterfeits among food is found on products with expired expiration, corrected to a new date [450].

With the development of printing technologies, counterfeits became more complex and high-tech, in parallel with the expansion of means of protection, methods



of falsification were improved. All product protection technologies currently in use can be divided into five major groups.

1. Protection at the stage of prepress (at the design stage).
2. Technological methods of printing.
3. Protection is achieved by various properties of paper.
4. Protection using of special paints.
5. Protection at the stage of post-press processing.

Classification of methods of protection of printing products (documents) and others, including food, as well as various products are presented in Fig.1

Food information can be conveyed through labeling, supporting documents, advertising and must be true. Labels are words, descriptions, signs for goods and services (trademarks), graphic images or symbols relating to foodstuffs, which are placed on any packaging, label (sticker), collar, and in the absence of packaging in a document or message that accompany or refer to the food. The label may contain mandatory and optional information about the product.

According to the Law of Ukraine “On Information for Food Consumers” №2639-VIII of 2020, general principles and requirements for information on food products, in particular on their labeling, as well as the responsibilities of market operators to bring this data to consumers are defined. The marking font must be clear, legible, and contrasting. The height of lowercase letters should be equal to or greater than 1.2 mm (still 0.8 mm). If the packaging area is less than 80 cm<sup>2</sup>, the height of the lowercase letters must be at least 0.9 mm. Separately (color, font, style) should be highlighted information about allergens contained in the food product [451].

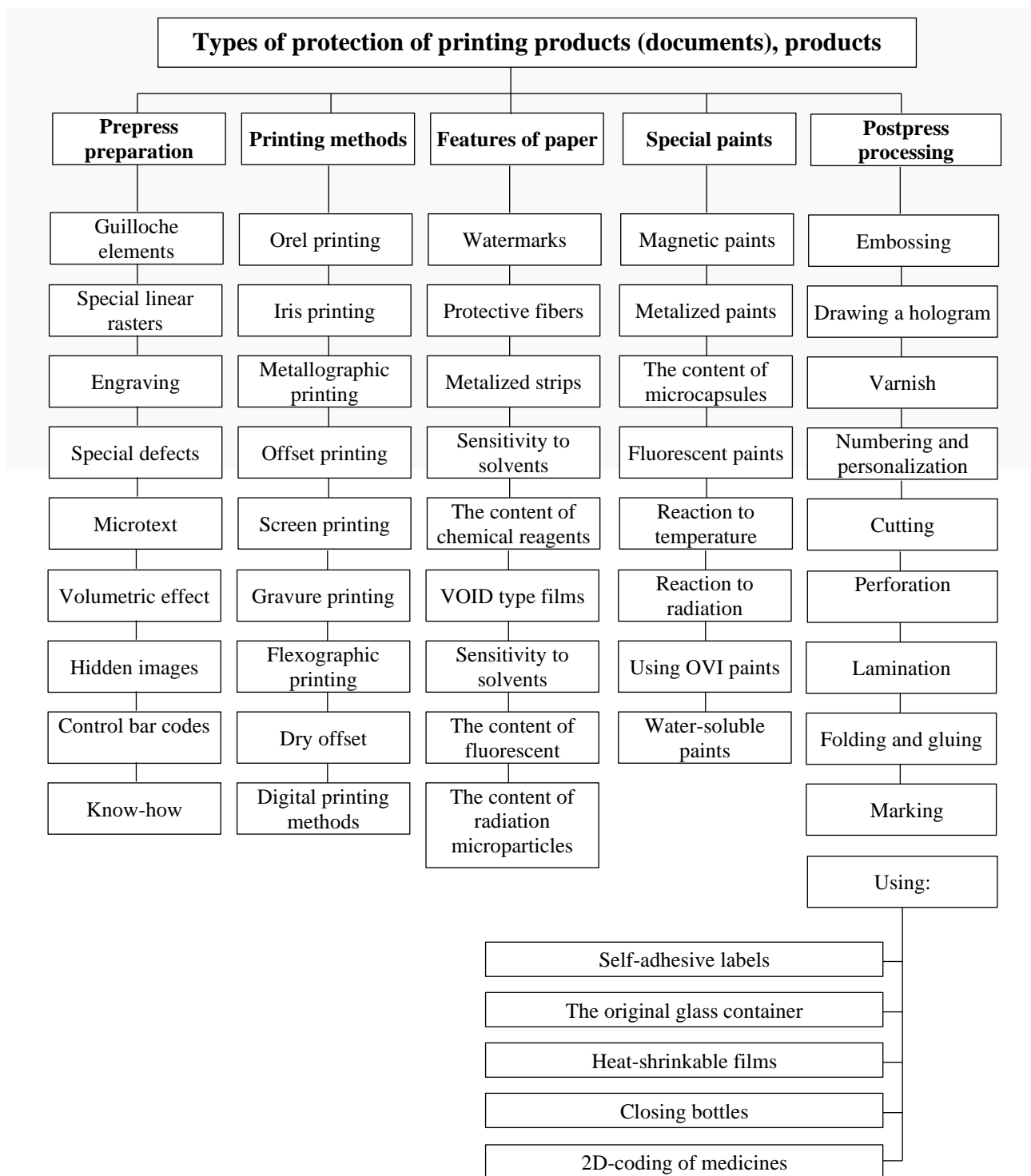


Figure 1. Basic types of document and product protection

At the stage of prepress guilloche is used. Guilloche elements (Fig. 2a) - an ornament in the form of a dense network of wavy curved lines intertwined with each other. Any document combines several methods of protection (Fig. 2b).

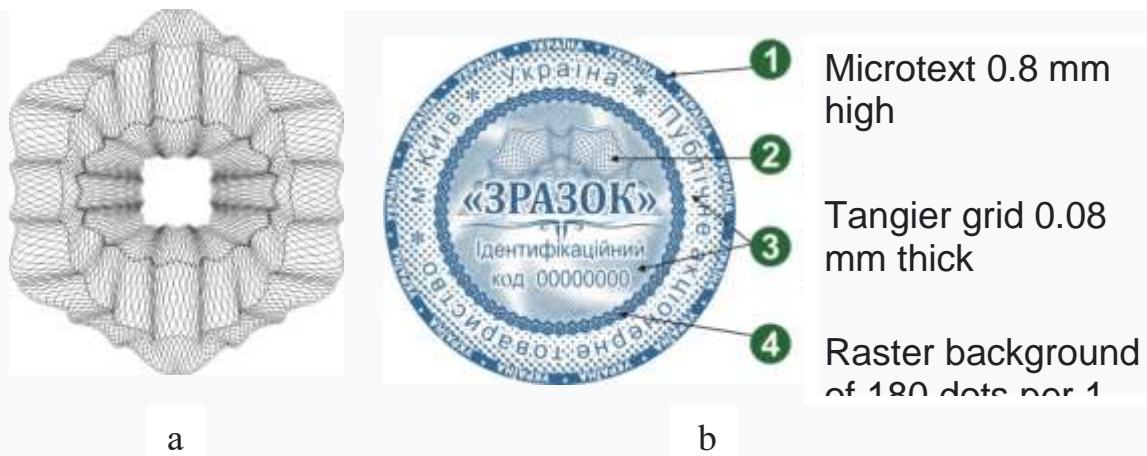


Figure 2: a is an example of guilloche elements, b is a sample of a seal

The application of bar codes (linear and matrix) is used to automate the accounting of parts, components, products, as well as to control the assembly, repair, maintenance, disposal, and replacement of products. The codes are read by DPM code scanners and data collection terminals created on their basis.

DPM (Direct Part Marking) is the technology of applying coding directly to components. DPM marking technology is used in the automotive, aerospace, electronic industry to automate the identification of parts and components, their accounting by serial numbers.

To apply direct coding to products, the following methods are used: etching marking, inkjet printing, laser marking. With the help of a copier, you can print large editions of self-adhesive labels with barcodes [452].



Figure 3. Direct laser marking technology

Fundamentally different positive properties that distinguish laser microtechnology from traditional technologies are primarily: high environmental

friendliness, which is due to the possibility of creating selective microchemical processes and low yield of environmentally harmful reagents; cost-effectiveness of consumables, energy; real-time controllability and controllability of laser microprocessing. High locality and the ability to remotely transport the energy of laser radiation allow you to implement a large number of technological processes [453].

Analysis of the main types of protection of products, products, valuable documents from forgery shows that there are a variety of ways and methods, among which the most common with the involvement of appropriate printing technologies, laser marking, and know-how. The versatility of protection methods and the rich list of varieties of products and products that are subject to protection against counterfeiting, requires further research to improve these processes.

## 9.6 Аналіз конструкцій опорних пристроїв мобільних підйомників з робочими платформами

За рахунок великої кількості конструкцій мобільних підйомників з робочими платформами (МПП) та різноманітності спектру їх використання, сучасні МПП так само мають велику кількість видів опорних пристроїв, що забезпечують достатню стійкість машини [454, 455].

Метою даної роботи є проведення аналізу конструкцій опорних пристроїв МПП та оцінка їх переваг і недоліків для подальшого розширення технологічних можливостей МПП.

Одним з найпростіших за конструкцією, а відповідно і самим економічним опорним пристроєм МПП є опорний пристрій контурного типу, який наведено на рис. 1 [456]. До рами базового шасі жорстко закріплено чотири гідравлічних циліндри, які виконують функцію гідравлічного домкрату. Використання такого виду опорного пристрою фактично не збільшує площу опорної поверхні у відношенні до базового шасі МПП, що суттєво обмежує можливість застосування МПП з великою висотою підйому та горизонтальним вильотом робочої платформи.

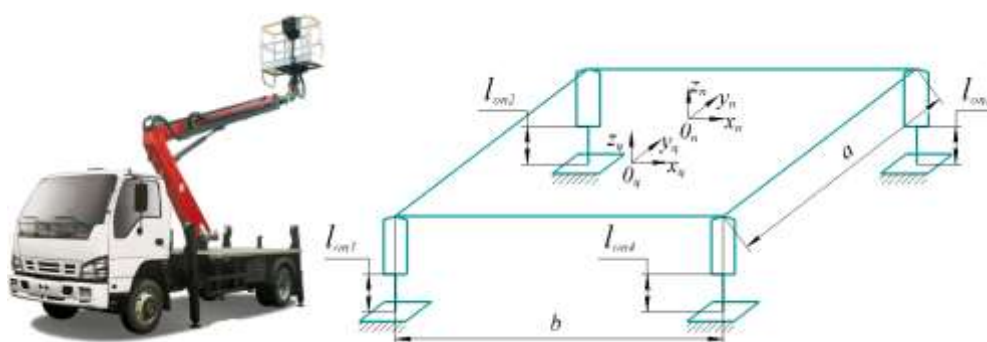


Рисунок 1. Опорний пристрій МПП контурного типу

Опорний пристрій МПП, наведений на рис. 2, являє собою чотири виносні опори жорстко закріплені на рамі базового шасі під кутом [457]. В залежності від висоти базового шасі та довжини виносних опор площа опорної поверхні у порівнянні з площею базової машини може збільшуватись від 1,15 до 1,2 рази.

До переваг опорного пристрою такого типу можна віднести вартість, простоту конструкції, швидкість розгортання МПРП. Слід зазначити, що використання такого опорного пристрою можливе у комплектації МПРП з висотою підйому до 25 м та горизонтальним виносом робочої платформи до 10 м.

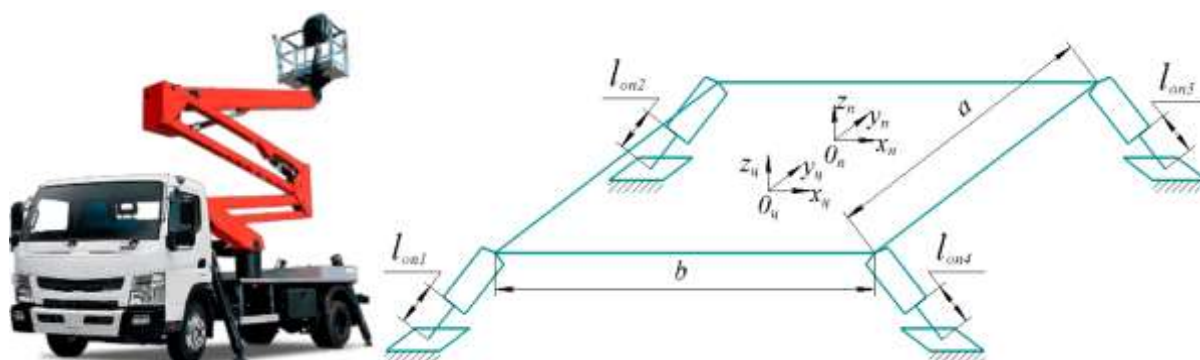


Рисунок 2. Опорний пристрій МПРП з кутовими опорами

На рис. 3 наведено конструкцію опорного пристрою МПРП з виносними опорами, що дозволяють більш ніж в 2 рази збільшити площу опорної поверхні машини у порівнянні з опорною поверхнею базового шасі [458]. Опорний пристрій являє собою чотири гідравлічні домкрати жорстко закріплених на виносних балках, які в свою чергу шарнірно кріпляться до рами базової машини.

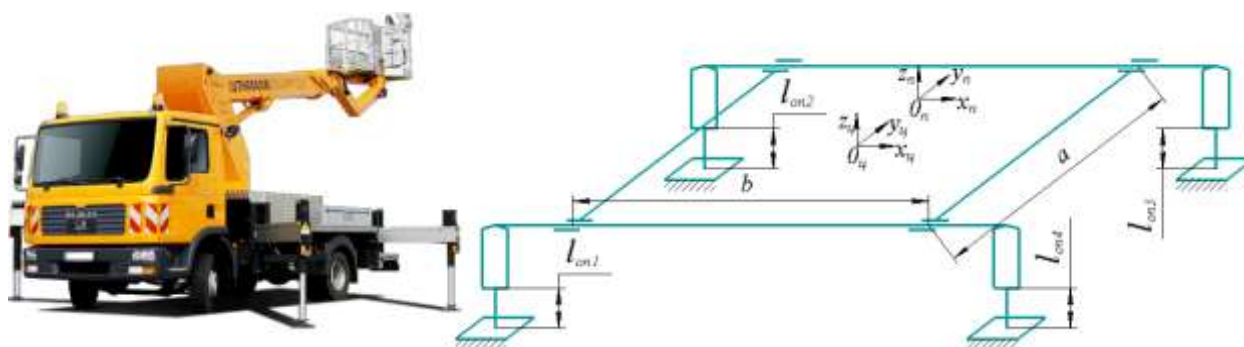


Рисунок 3. Опорний пристрій МПРП з виносними опорами

Слід зазначити, що габаритні розміри виносних опор залежать виключно від геометричних параметрів базової машини та мають гідравлічний привід, що значно зменшує швидкість розгортання МПРП. Суттєвим недоліком наведеної конструкції опорного пристрою МПРП є неможливість розгортання машини в стіснених міських умовах через потребу вільного простору для розгортання

опор, проте дана конструкція дозволяє застосовувати МПРП з висотою підйому 100 м і більше.

Опорний пристрій МПРП наведений на рис. 4 являє собою чотири виносні опори шарнірно закріплені на рамі базової машини [459]. Передня частина опорного пристрою аналогічна тому, що наведений на рис. 3, а задня представляє собою дві виносні опори, які закріплені на рамі машини за допомогою горизонтального шарніру. Таким чином, місце встановлення задніх опор залежить від кута їх повороту. Дана конструкція дозволяє збільшити площу горизонтального вильоту робочої платформи машини за рахунок можливості встановлення задніх опор перпендикулярно, паралельно та під кутом до повздовжньої осі машини.

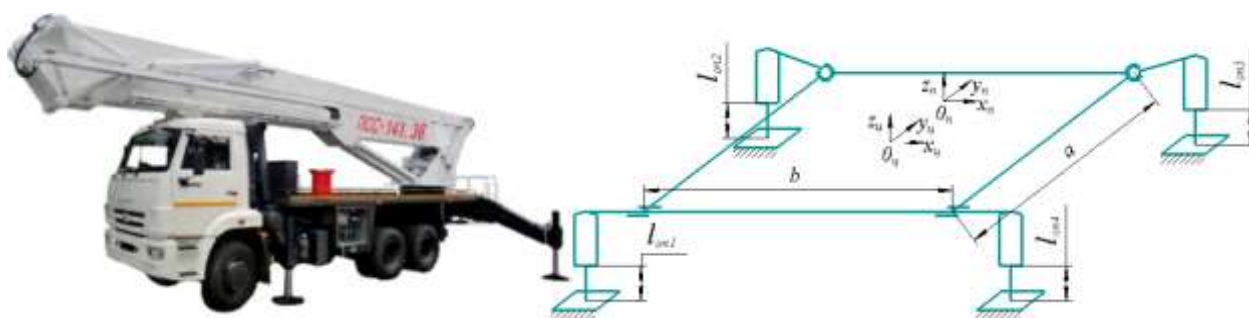


Рисунок 4. Опорний пристрій МПРП комбінованого типу

За рахунок опорних пристроїв наведених на рис. 5 та 6 самохідні МПРП такого типу отримали назву «Павук», що пояснюється їх характерним зовнішнім виглядом [458, 459]. Дані конструкції широко застосовуються на малогабаритних самохідних МПРП, які мають велику висоту підйому через компактність виконання як у робочому так і у транспортному положенні. Крім цього, конструкції такого типу дозволяють суттєво збільшувати площу опорної поверхні у порівнянні з базою машини (до 2,5 раз).

Опорний пристрій, який наведений на рис. 5, представляє собою чотири відкидні опори закріплені на рамі машини за допомогою горизонтального шарніру. Підйом – опускання опор здійснюється за допомогою гідроциліндрів приводу.

Конструкція опорного пристрою, яка наведена на рис. 6, більш складна. Виносна опора являє собою шарнірну конструкцію, що дозволяє більш ефективно використовувати МПРП на поверхнях, які мають нерівності.

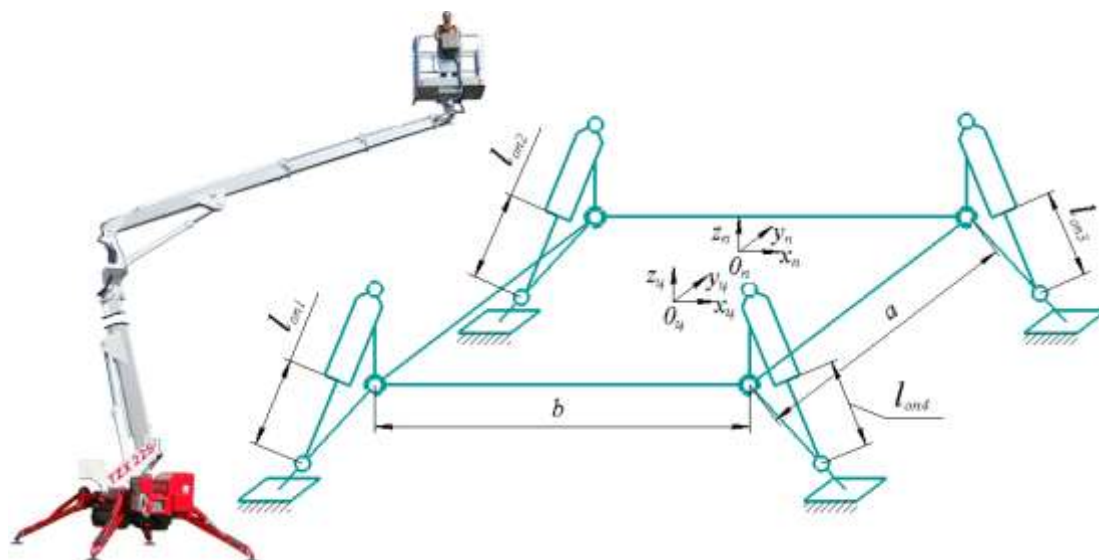


Рисунок 5. Опорний пристрій МПРП «Павук»

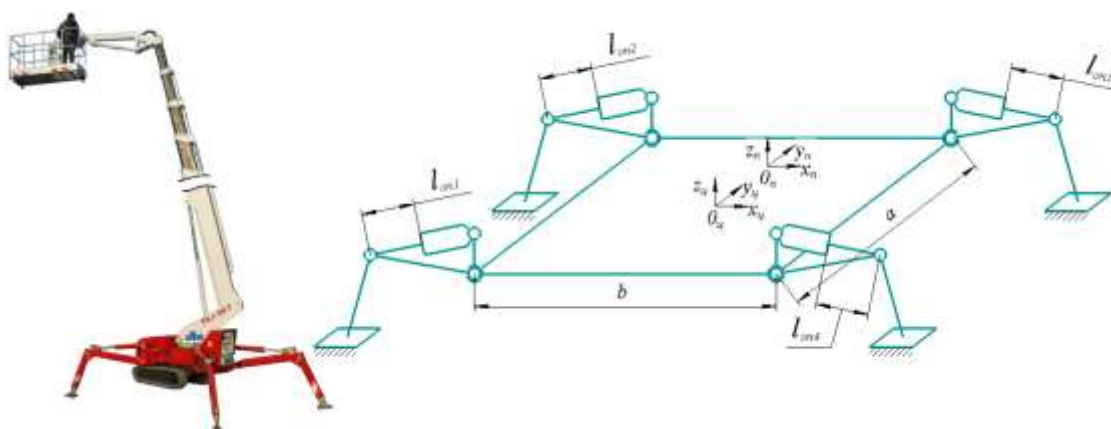


Рисунок 6. Опорний пристрій МПРП «Павук» шарнірного типу

Конструкція опорного пристрою, що наведена на рис. 7, має найпрогресивнішу конструкцією для самохідних МПРП на пневматичному ході [460]. Опорний пневматик є частиною опори з окремим приводом на кожне колесо. Крім цього, кожна опора може змінювати виліт за допомогою гідроциліндрів керування. Дана конструкція опорного пристрою забезпечує підвищену маневреність та проходимість у поєднанні з можливістю змінювати



ширину колії машини в процесі руху. До недоліків даної конструкції слід віднести складність конструкції та її високу вартість.

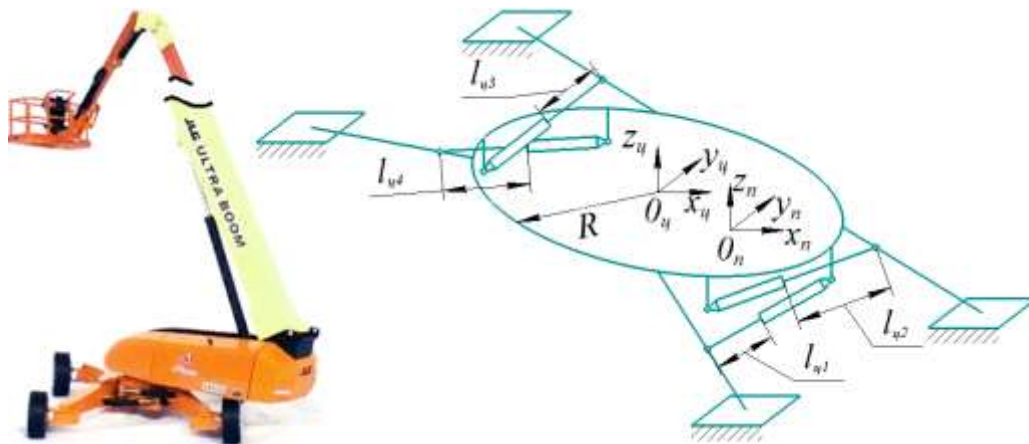


Рисунок 7. Опорний пристрій МПРП з механізмом регулювання бази машини

Проведений аналіз конструкцій опорних пристроїв мобільних підйомників з робочими платформами вказує на те, що кожна з розглянутих конструкцій має як переваги так і недоліки. Слід відзначити той факт, що при виборі типу опорного пристрою необхідно враховувати експлуатаційні показники машини, такі як: висота підйому, максимальний горизонтальний виліт робочої платформи та вантажопідйомність.

## 9.7 Вплив ексцентриситету та водних розчинів диталану на гідравлічний опір циліндричного ротора

При вивченні впливу поверхнево-активних речовин (ПАР) на турбулентну структуру потоків розглядали течію розчинів міцелотвірних ПАР (МПАР) у трубах [461]; замкнених гідравлічних системах деяких централізованих систем подачі тепла і холоду, водокільцевих насосах тощо [462].

МПАР в однорідних розчинах мають зворотну механічну деструкцію. Це дозволяє використовувати їх без втрати ефективності в магістральних трубопроводах, де рух робочих рідин забезпечують насосами.

У літературних джерелах досліджувались течії рідин з ПАР між співвісними циліндрами, рідше – між неспіввісними. Так, при течії розчинів диталану OTS концентраціями 1,2 % та 2,4 % в 3 %-му водному розчині хлористого натрію між коаксіальними циліндрами зниження опору починає проявлятися при числах Рейнольдса 6000 та 9000 відповідно. А водно-сольові розчини диталану OTS концентраціями 0,3 % та 0,6 % знижують гідродинамічний опір турбулентного тертя при значно менших числах Рейнольдса [463]. При течії ПАР між неспіввісними циліндрами при обертанні зовнішнього опір ротора зменшили на 18 % при  $5000 < Re < 15000$ , а опір статора – в середньому на 20 % при  $2000 < Re < 10000$  та до 30 % при  $Re = 15000$  [464].

Метою даного дослідження є експериментальна перевірка впливу ексцентриситету ротора відносно статора та розчинів диталану на гідродинамічний опір ротора.

Схему експериментального стенду [465] для дослідження впливу ексцентриситету ротора на його гальмівний момент подано на рис. 1. Ротор 7 приводиться в обертний рух електричним двигуном постійного струму 9 й жорстко посаджений на його вал 8. Двигун встановлений між плитами 13 та 14, які на стійках 16 та 17 закріплені на плиті 4. Пересувна плита 2, на якій закріплено статор 1, рукояткою 6 поступально переміщається в пазу трапецоподібного перерізу 3 опорної плити 4.

Гальмівний момент, який сприймає ротор при контакті з робочою рідиною, обчислюють непрямым способом через споживану потужність електродвигуна.

Початкове положення внутрішнього циліндра (ротора) – співвісне зі статором. Ексцентриситет, що утворюється внаслідок переміщення пересувної плити 2 разом із зовнішнім циліндром (статором), фіксують стрілкою 18 відносно шкали 15.

Швидкість обертання ротора регулюють зміною напруги, що подається на електричний двигун. Для обчислення швидкості обертання ротора застосовують тахометр марки ТЧ 10-Р. В комплект установки входить випрямляч змінного струму та трансформатор для регулювання напруги.

Вікна 12 призначені для візуального дослідження структури потоку робочої рідини в проміжку зі змінними геометричними параметрами (ширина та кути, що сходяться та розходяться) між ротором 7 та статором 1. Цей проміжок змінюють від кільцевого до замкнутого конфузorno-дифузornoго переміщенням статора 1.

Основні технічні дані експериментального стенду: внутрішній діаметр статора  $D = 142$  мм; висота статора – 153 мм; діаметр ротора  $d = 112,9$  мм; висота ротора – 233 мм; співвідношення діаметрів  $d/D = 0,795$ ; швидкість обертання ротора –  $5 \dots 500$  с<sup>-1</sup>; габаритні розміри:  $200 \times 307 \times 540$  мм; маса з ротором – 18 кг.

Досліди проводили при ширині проміжку від 2,55 до 14,55 мм. Частота обертання ротора, яку регулювали зміною напруги електричного двигуна та вимірювали тахометром, змінювалась в межах  $5 \dots 500$  хв<sup>-1</sup>.

Як робочі рідини використовували воду та водні розчини диталану (Ditalan OTS-45) з масовими концентраціями 1 % та 8 % з додаванням для загущення 3 % хлориду натрію (NaCl) та для стабілізації 0,2 % гідрокарбонату натрію (NaHCO<sub>3</sub>) від маси розчину.

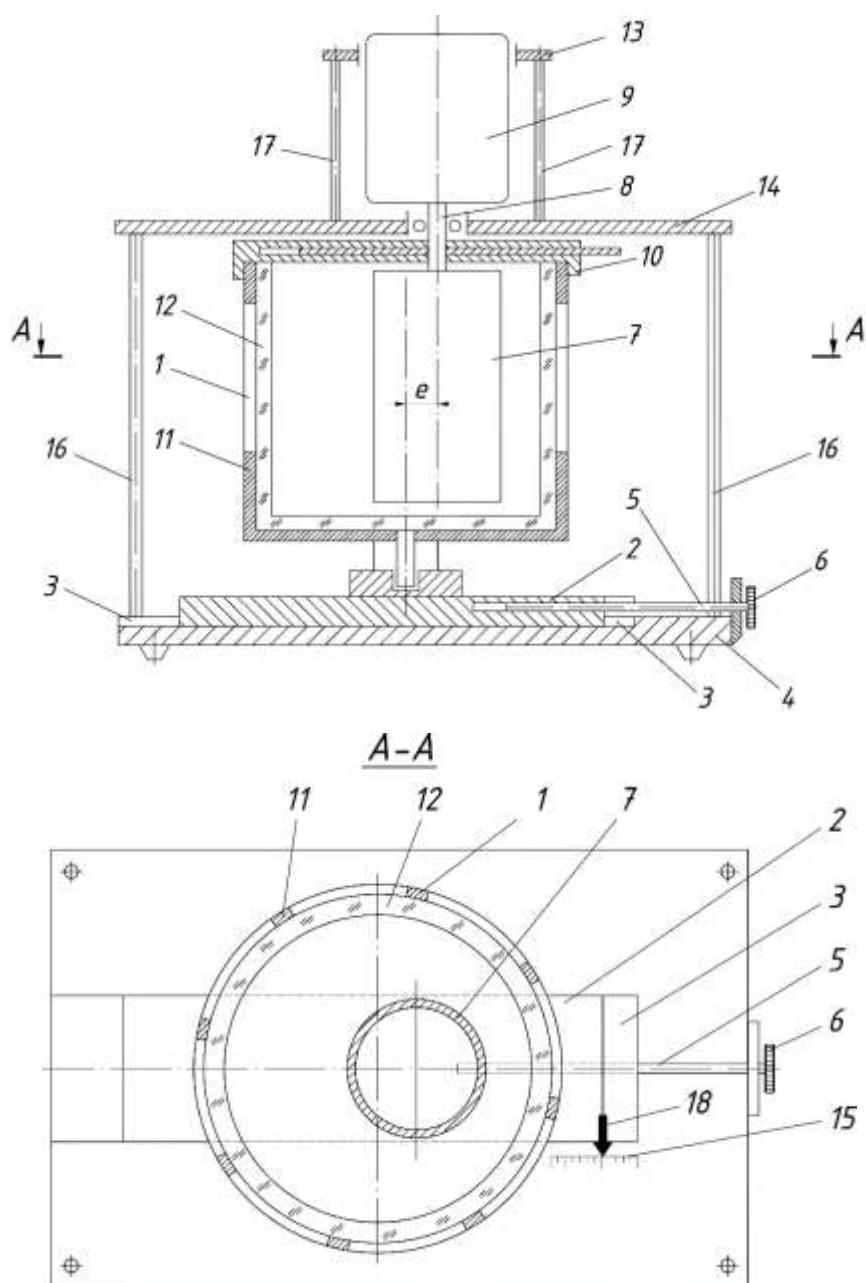
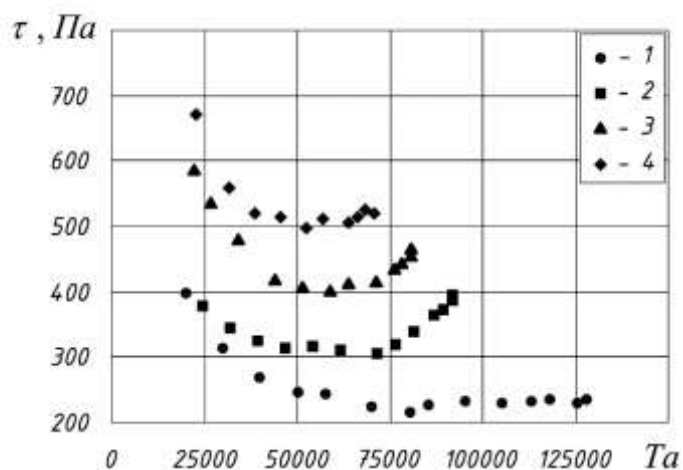


Рис. 1. Схема експериментального стенду: 1 – статор; 2 – плита рухома; 3 – паз; 4 – опорна плита; 5 – гвинт; 6 – ручка; 7 – ротор; 8 – вал; 9 – електродвигун; 10 – кришка; 11 – металевий каркас; 12 – прозорий циліндр; 13, 14 – плита; 15 – шкала; 16, 17 – стойки; 18 – стрілка

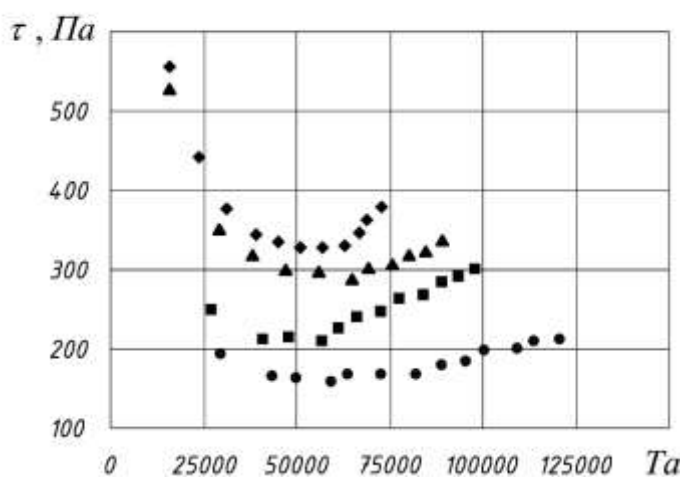
Для дослідженого діапазону критерію Тейлора  $Ta = 15000 \dots 150000$  середні дотичні напруги  $\tau$  на стінці ротора, який обертався у воді (рис. 2, а) та у водних розчинах диталану (рис. 2, б, в), зі збільшенням  $Ta$  спочатку зменшуються, потім проходять мінімум, а далі зростають. Збільшення ексцентриситету  $e$  та концентрації водного розчину диталану зсувають точку

мінімуму залежності  $\tau = f(Ta)$  в бік відповідно менших та більших значень  $Ta$ .

a)



б)



в)

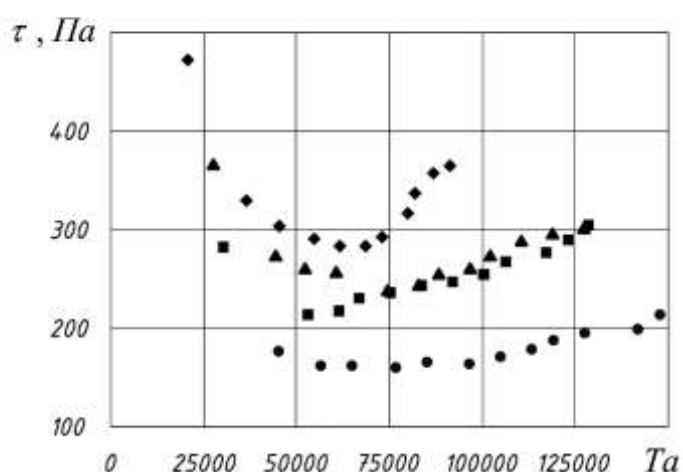


Рис. 2. Залежність дотичних напруг  $\tau$  від критерію Тейлора  $Ta$  та ексцентриситету: 0 мм (1); 4,0 мм (2); 8,0 мм (3); 12,0 мм (4) для ротора діаметром  $d = 112,9$  мм, який обертався у воді (а) і водних розчинах диталану з масовими концентраціями 1 % (б), 8 % (в)

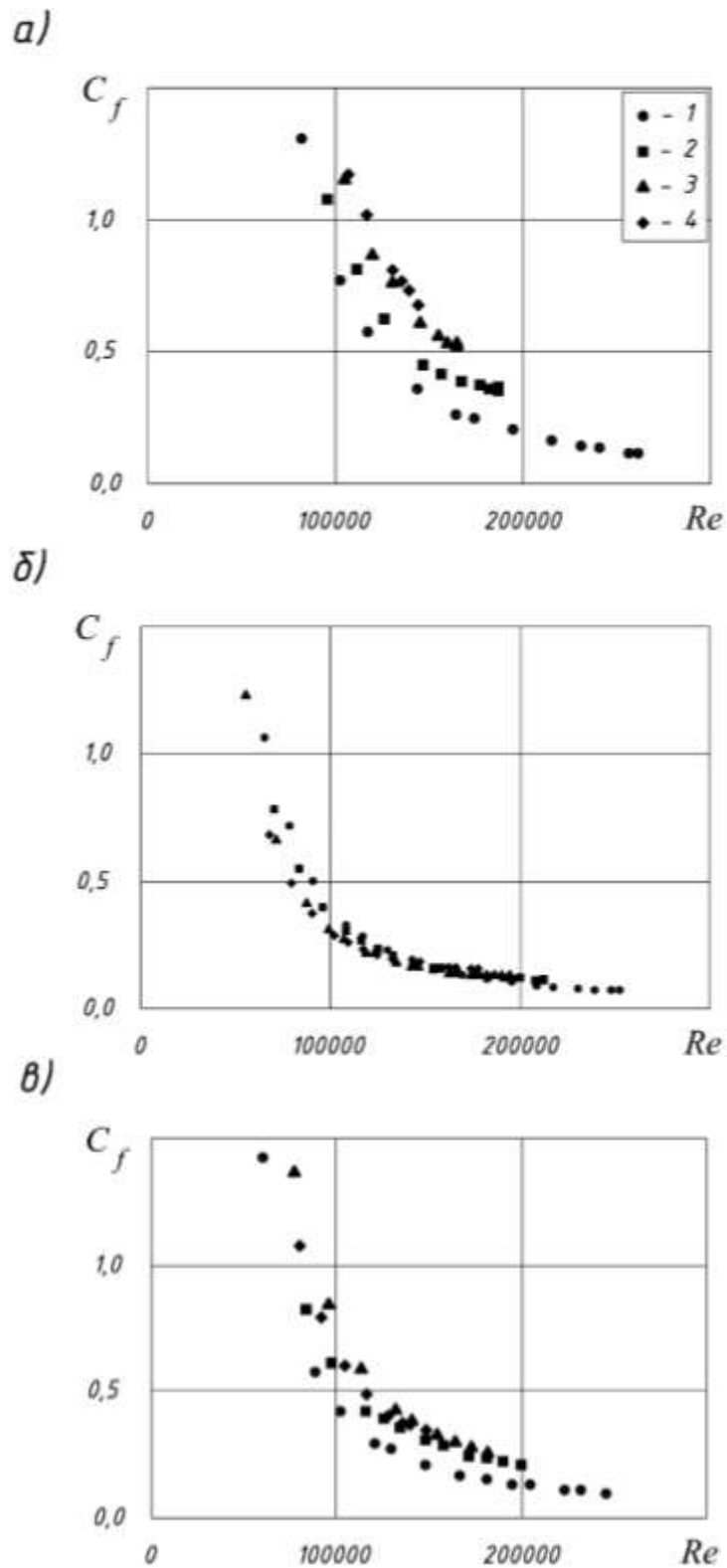


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя  $C_f$  в проміжку між ротором та статором від критерію Рейнольдса  $Re$  та ексцентриситету: 0 мм (1); 4,0 мм (2); 8,0 мм (3); 12,0 мм (4) для води (а) та водних розчинів диталану з масовими концентраціями 1 % (б), 8 % (в)

Більші значення  $\tau$  відповідають меншим значенням концентрації та більшим значенням  $e$ .

Для дослідженого діапазону критерію Рейнольдса  $Re = 60000 \dots 260000$  коефіцієнт тертя  $C_f$  зі збільшенням  $Re$  зменшуються як для води (рис. 3,а), так і для водних розчинів диталану (рис. 3, б, в). За фіксованих однакових значень  $Re$  збільшення ексцентриситету  $e$  та концентрації розчину диталану призводять відповідно до збільшення та зменшення  $C_f$ .

**SECTION 10. METALLURGY AND ENERGY****10.1 Effect of chromium on the structure, metastability of austenite new nickel-free corrosion-resistant two-phase steels, self-increasing mechanical properties**

In the world practice Cr-Ni steels of type AISI 304 (18/8 stainless steel) (10Cr18Ni(9...10)Ti, 08Cr21Ni6Mo2Ti, etc.) are widely used as effective corrosion-resistant steels [466, 467]. These steels are very expensive since they contain 6...11% expensive and scarce nickel. Therefore, in many countries research and development are being carried out on low-nickel and nickel-free corrosion-resistant steels capable of adequately replacing the above-mentioned Cr-Ni corrosion-resistant steels, retaining a sufficient set of mechanical properties and corrosion resistance [468, 469].

With the objective of adequate replacement of expensive Fe-Cr-Ni corrosion-resistant steels with nickel-free steels, we have developed Fe-Cr-Mn steels for the ability to work in corrosive environments of low and medium aggressiveness [470, 471].

To determine the optimal chemical composition of new nickel-free steels, the impact of chromium from ~14% to ~22% on the phase composition, microstructure, and mechanical properties was studied. An important feature and advantage of the developed Fe-Cr-Mn steels is the metastability of the austenitic phase, which undergoes a deformation induced martensite  $\gamma \rightarrow \alpha'$  transformation that develops when testing the mechanical properties and operation of steels (hereinafter DIMTT) [470-472]. It is accompanied with deformation self-strengthening due to the formation of deformation martensite, and the phase transformation process itself is accompanied with relaxation of micro-stresses. This becomes an additional reserve for increasing mechanical properties compared to conventional standard chromium-nickel steels [473].

Samples of the studied steels were quenched with heating at a temperature of 1,050 °C (with a holding time of 20 min.), cooled in water and tempered at a temperature of 200 °C, 1 hour. In the forged state, the structure of 10Cr18Mn6SiV and



08Cr22Mn6SiV steels contains from 5% to 15% of the  $\sigma$ -phase (FeCr) it leading to embrittlement of the steel. The presence of the  $\sigma$ -phase is eliminated by quenching with heating to temperatures of 1,000...1,100 °C and accelerated cooling in water or oil. After quenching at 1,050 °C, the microstructure of 10Cr14Mn6SiV steel consists of austenite and martensite (Fig. 1 a).

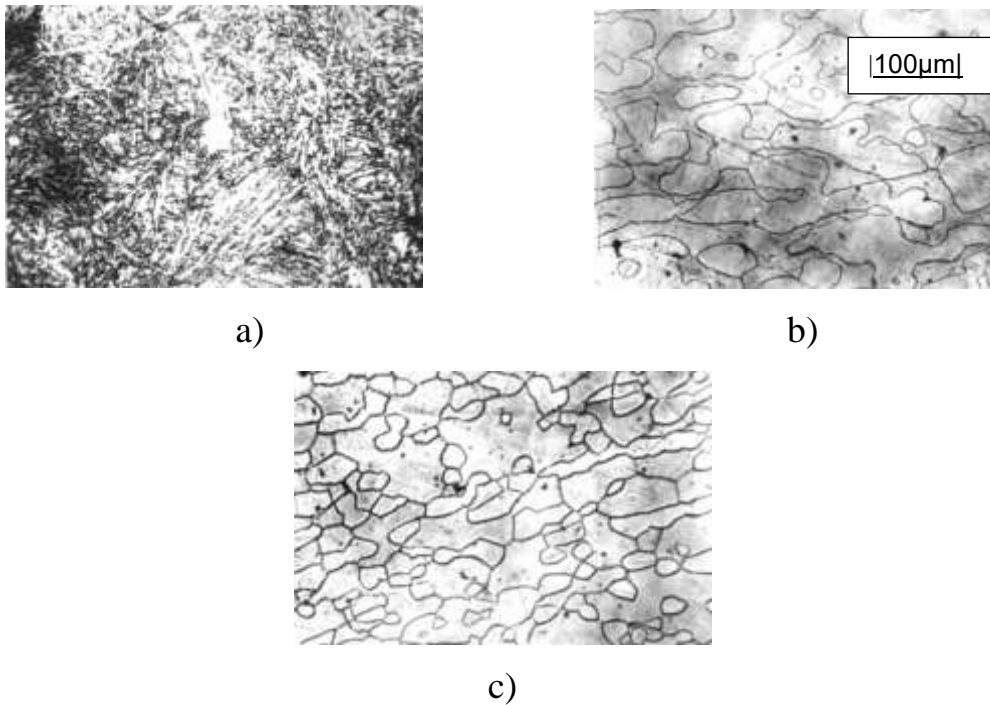


Figure 1. Microstructure of corrosion-resistant steels based on Fe-Cr-Mn after quenching 1,050 °C (tempering at 200 °C): a) 10Cr14Mn6SiV; b) 10Cr18Mn6SiV; c) 08Cr22Mn6SiV.

With an increase in the chromium content from ~14% to ~18%, the martensite component disappears from the structure, and  $\delta$ -ferrite appears. The microstructure of 10Cr18Mn6SiV steel consists of ~46%  $\delta$ -ferrite in the form of closed regions and ~54% austenite (Fig. 1 b). With an increase in chromium content to ~22%, the amount of  $\delta$ -ferrite increases to 68%, and austenite decreases to 32% (Fig. 1 c, Table 1). When steel samples are heated under quenching to a temperature of 1,050 °C, the  $\sigma$ -phase dissolves and does not have time to stand out during accelerated cooling. This has a positive effect on the properties of steels. With an increase in the chromium content from ~18% to ~22%, the microhardness of  $\delta$ -ferrite decreases from 277 HV to 220 HV,

and microhardness of austenite from 370 HV to 260 HV. The mechanical properties of the investigated corrosion-resistant steels after heat treatment are given in Tables 2 and 3.

Table 1.

Phase composition of the investigated Nickel-free corrosion-resistant steels on Fe-Cr-Mn base after quenching 1,050 °C

Grade of steel	State	Phases content, %		
		Martensite	Ferrite	Austenite
10Cr14Mn6SiV	quenched	54	-	46
10Cr18Mn6SiV	quenched	-	46	54
08Cr22Mn6SiV	quenched	-	68	32

Table 2.

Mechanical properties (tensile, toughness) of corrosion-resistant steels after quenching at 1,050 °C (tempering 200 °C)

Grade of steel	Ultimate tensile strength (UTS), MPa	Yield strength (YS), MPa	Percentage elongation (PE), %	Percentage duration area (Z), %	Impact toughness (KCV), MJ/m <sup>2</sup>	Impact toughness (KCU), MJ/m <sup>2</sup>
10Cr14Mn6SiV	1520	920	5	6	0.5	-
10Cr18Mn6SiV	1100	480	32	28	>3.8	-
08Cr22Mn6SiV	900	500	43	65	3.3	-
10Cr8Ni9Ti (GOST7350-77)	530	230	38	55	-	2.5
AISI304 (ASTM A240)	510	205	40	50	-	-
08Cr21Ni6Mo2Ti (GOST7350-77)	588	340	20	-	-	0.6

With an increase in the chromium content from 14% to 22%, the ultimate tensile strengths (from 1520 to 900 MPa) and the yield strength (from 920 to 500 MPa) and ultimate torsion strength and yield strength (from 1430 to 800 MPa and from 760 to 200 MPa, respectively) decrease in steel at continuous increase in properties of ductility: (PE) - from 5% to 43%; Z - from 6% to 65%; relative shear (g) - from 60% to 122% (Tables 2, 3).

This is explained on the one hand by the disappearance of quenching martensite and an increase in the proportion of more ductile  $\delta$ -ferrite. An additional and very significant factor in increasing strength and, at the same time, ductility is the deformation metastability of austenite, which manifests itself in the development of  $\gamma \rightarrow \alpha'$  DIMTT with the formation of strain-induced martensite ( $\Delta\alpha'$ ) (see Table 3). This can be seen from the kinetics of  $\gamma \rightarrow \alpha'$  DIMTT shown in Fig. 2.

Table 3.

Mechanical properties (at torsion) and an increase of strain-induced martensite at torsion testing of nickel-free corrosion-resistant Fe-Cr-Mn steels

Grade of steel	HB	Torsion strength (TS), MPa	Yield strength (YS), MPa	Relative shear (g), %	Increase of strain-induced martensite ( $\Delta\alpha'$ ), %
10Cr14Mn6SiV	475	1430	760	60	35
10Cr18Mn6SiV	212	950	290	81	31
08Cr22Mn6SiV	190	800	200	122	5

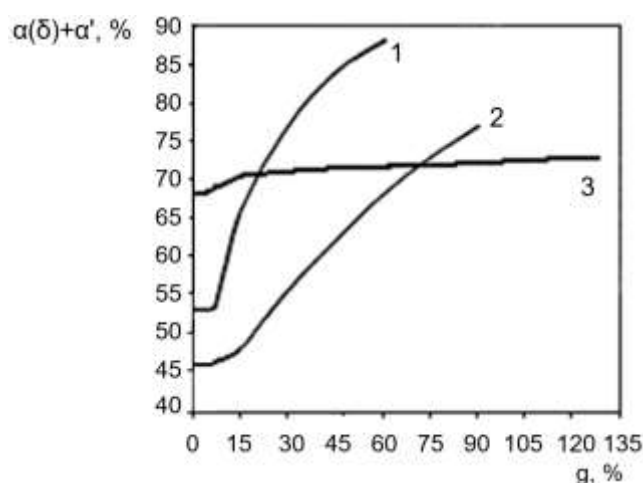


Figure 2. Kinetics of deformation induced martensite  $\gamma \rightarrow \alpha'$  transformation at torsion testing of Fe-Cr-Mn corrosion-resistant steels after quenching 1,050 °C, tempering 200 °C ( $\alpha$  – quenching martensite;  $\delta$  - ferrite;  $\alpha'$  - strain-induced martensite). Steel grades: 1 – 10Cr14Mn6SiV; 2 – 10Cr18Mn6SiV; 3 – 08Cr22Mn6SiV.

$\gamma \rightarrow \alpha'$  DIMTT causes, on the one hand, strain-hardening of steels, and on the other hand, relaxation of microstresses, it simultaneously increasing ductility directly at testing of mechanical properties. However, the degree of the strengthening effect and

increase of the ductility properties in steels is different and is determined by the kinetics of the  $\gamma \rightarrow \alpha'$  DIMTT (see Fig. 2).

The more strain-induced martensite ( $\Delta\alpha'$ ) is formed, the greater the self-strengthening effect, characterized by the difference between the ultimate tensile strength and the yield strength ( $\Delta\sigma = \text{UTS} - \text{YS}$  (tensile test)), torsion strength and yield strength ( $\Delta\tau = \text{TS} - \text{YS}$  (torsion test)), and the longer the  $\gamma \rightarrow \alpha'$  DIMTT develops more smoothly in time - the greater the ductility properties (PE, Z, g). It is noteworthy that in steel 08Cr22Mn6SiV the effect of superplasticity is manifested (g = 122%) when a strength high enough for this class of steels is reached (UTS = 900 MPa, TS = 800 MPa). In standard Fe-Cr-Ni steels, for example 10Cr18Ni9Ti austenite class, (steel type 18/8, according to the standard AISI 304) and 08Cr21Ni6Mo2Ti austenitic-ferritic class, under similar conditions for testing properties, this effect is not realized.

It is important to note that the impact toughness of specimens of 10Cr18Mn6SiV and 08Cr22Mn6SiV steels with a V-notch (under more severe test conditions) in most cases exceeds the maximum possible values ( $\text{KCV} > 3.75 \text{ MJ/m}^2$ ), since the specimens did not completely break even at the maximum impact energy at 300 J. In this case, the character of the fracture of the samples reveals branching (division into several directions) in the longitudinal direction of the developing crack (Fig. 3a), which significantly increases its total length by 2.5 - 3.5 times.

Metallographic researches revealed near the tip and edges of the crack (Fig. 3b, location 1), and in the zone of the greatest compression deformation (Fig. 3a, location 2) the formation of a large amount of  $\alpha'$  strain-induced martensite in the austenite grains (Fig. 3b, c). The reason for the branching of the crack is obviously its strong inhibition by self-strengthening processes due to the formation of a large amount of strain-induced martensite in the compression zone (Fig. 3c, location 2), as well as the relaxation of microstresses. The data of X-ray diffraction phase analysis show that a larger amount of strain-induced martensite formed during the tests in austenite grains corresponds to a higher impact toughness of steels.

A comparison of the mechanical properties of the developed nickel-free corrosion-resistant steels and standard Fe-Cr-Ni steels grades 10Cr8Ni9Ti,

08Cr21Ni6Mo2Ti shows (Table 2) that the new nickel-free steels have a significantly higher set of strength properties (UTS, YS) and impact toughness with similar ductility indices, and in 08Cr22Mn6SiV steel with significantly higher ductility and even superplasticity ( $\epsilon = 122\%$ ) with a sufficiently high strength (see Table 3).

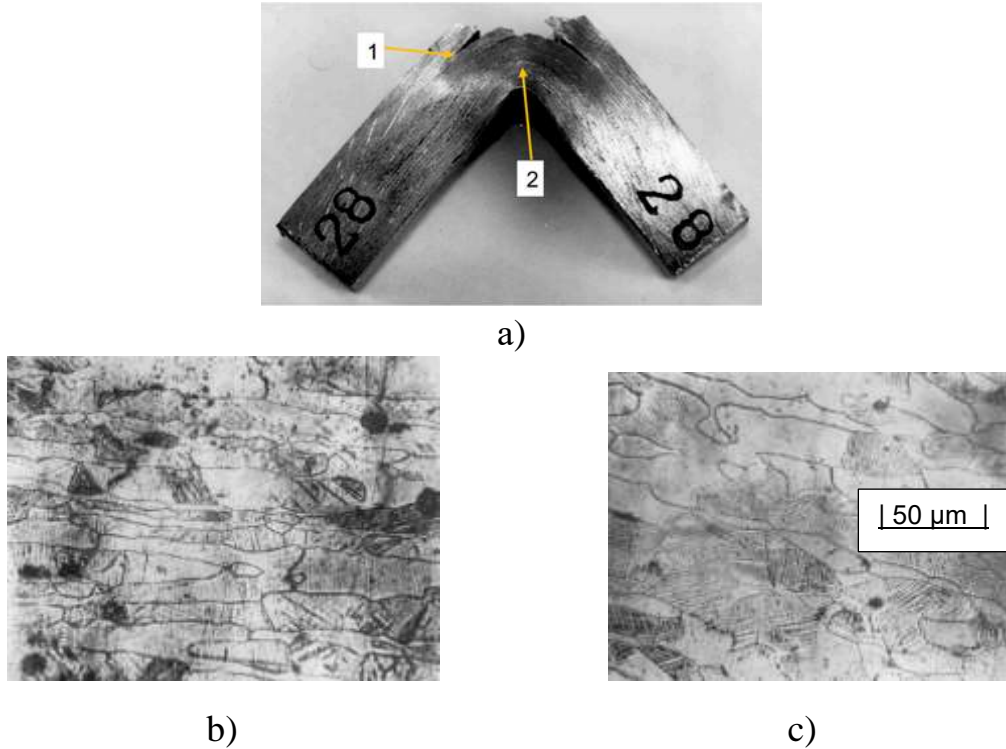


Figure 3. Appearance (a) and microstructure (b, c) of the impact specimen of steel 10Cr18Mn6SiV after quenching from 1050 °C: 1 - at the crack tip (b); 2 - in the compression zone (c).

### Conclusions:

1. Developed nickel-free corrosion-resistant two-phase steels, depending on the chromium content (from ~14% to ~22%), for phase composition belong to different structural classes: austenite-martensite (10Cr14Mn6SiV), austenite-ferrite (10Cr18MnSiV), and ferrite-austenite (08Cr22Mn6SiV) with different metastability of austenite.

2. Steel 10Cr14Mn6SiV has the highest strength characteristics of properties and minimal ductility and impact toughness, steel 08Cr22Mn6SiV - maximum ductile properties (and even superplasticity) with the lowest strength, steel 10Cr18Mn6SiV -

intermediate characteristics of strength, ductile properties, but the highest impact toughness.

3. In terms of mechanical properties, the developed nickel-free corrosion-resistant steels 10Cr18Mn6SiV and 08Cr22Mn6SiV are superior to the well-known widely used Fe-Cr-Ni steels 10Cr18Ni9Ti (stainless steel type 18/8) according to the standard AISI 304 austenite class and 08Cr21Ni6Mo2Ti austenitic-ferritic class.

4. The advantages of the developed steels are the metastability of the austenitic phase, realizing  $\gamma \rightarrow \alpha'$  DIMTT, which causes the effects of strain self-strengthening and self-relaxation stress directly during the testing of properties, self-increasing mechanical characteristics and provides an increase in strength, at the same time ductility and impact toughness.

## 10.2 Influence of the primary and secondary air consumption ratio on the microjet burner devices efficiency

In the recent period, more and more attention has been paid to studies of various aspects of combustion processes and the design of appropriate burner devices [474-488]. Among the various types of burners, microjet burner devices can be distinguished, in which combustion is carried out by crushing the ignition torch into separate micro flame. The use of these devices makes it possible, as is known, to achieve a high degree of homogenization of the combustion zone, to improve the stabilization properties, to reduce the level of pressure losses on the burner, etc. The available publications devoted to this topic touch on only certain aspects of the operating processes of the considered burner devices and by no means exhaust the needs of their design and operation. At the same time, CFD modeling is used as a research method in a number of papers, with the help of which detailed field information on the characteristics of the combustion process can be obtained [484-488].

The absence of the necessary completeness of thermophysical investigations of the microjet burner devices working processes necessitates in-depth studies in them.

This work is devoted to the study of the features of the working processes of microjet burners of the stabilizer type with an asymmetric fuel distribution.

In this work burners in which fuel gas is supplied from one of the sides of the flame stabilizer, and a plate flap of a certain size is installed on the other side of this stabilizer at its end are considered (see Figure 1). The indicated burners are designed for use in conditions of high values of the excess air ratio ( $2.0 \leq \alpha \leq 4.0$ ). In this situation, as is known, low energy efficiency of the burner can be realized, which is associated with an increased chemical incompleteness of the combusted fuel. The special organization of the working process of the burners under consideration is designed to ensure their high energy and environmental efficiency.

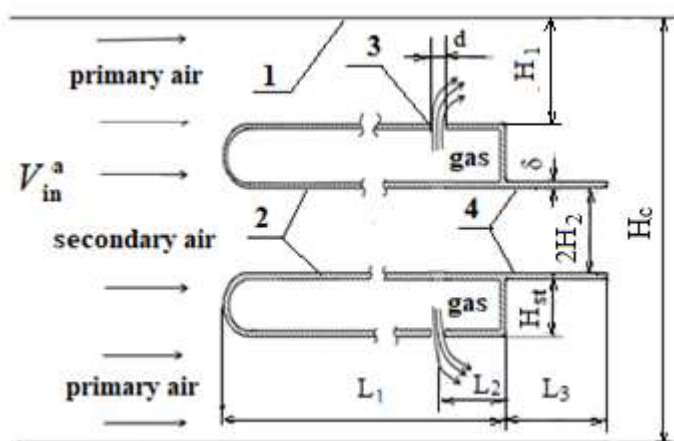


Figure 1. Schematic of a microjet burner device module with fuel gas supply from one of the sides of the flame stabilizer: 1 - flat channel, 2 - flame stabilizer, 3 - gas supply holes, 4 - flaps.

In the considered burners, a two-stage fuel combustion scheme is implemented (Figure 1). The primary air is supplied to the wall channels, and the secondary air is supplied to the interstabilizer channel and further to the combustion zone behind the flaps. These flaps are installed on the end surface of the flame stabilizers in order to facilitate the formation of circulating flows in their astern areas and to provide the specified two-stage scheme. Fuel gas is supplied through a system of holes located on one of the side surfaces of the flame stabilizer facing the channel wall.

Tables 1, 2 and Figures 2, 3 show the research results for various values of the ratio of primary and secondary air consumptions with the following initial parameters  $H_{st} = 0.015$  m;  $H_c = 0.075$  m; channel length  $L_c = 1.3$  m; distance from channel entrance to stabilizer  $L_0 = 0.1$  m;  $L_1 = 0.2$  m;  $L_2 = 0.02$  m;  $L_3 = 0.06$  m; diameter of gas supply holes  $d = 0.002$  m; relative pitch of supply holes location  $S/d = 3.5$ ; channel blockage factor  $k_f = 0.4$ ; air velocity at the channel inlet  $V_{in}^a = 10.0$  m/s; excess air ratio  $\alpha = 3.0$ . As an example, three ratios of primary and secondary air consumptions  $\varepsilon$ , corresponding to different values of the width of the wall and interstabilizing channels  $\varepsilon = H_1/H_2 = 17.0/5.5 \approx 3.1$ ;  $13.5/9.0 = 1.5$  and  $10.0/12.5 = 0.8$  are considered.



Table 1.

Change in the coefficient of fuel burnup  $\eta_z$  along the length of the channel at  $\alpha = 3.0$  for different values of the ratio  $\varepsilon$

$x, m$ $\varepsilon$	0.03	0.06	0.10	0.21	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
3.1	0.065	0.095	0.206	0.346	0.390	0.421	0.445	0.466	0.484	0.501	0.518	0.545
1.5	0.020	0.032	0.073	0.257	0.374	0.468	0.623	0.766	0.851	0.921	0.968	0.995
0.8	0.088	0.163	0.400	0.567	0.740	0.891	0.943	0.967	0.989	0.997	0.987	0.976

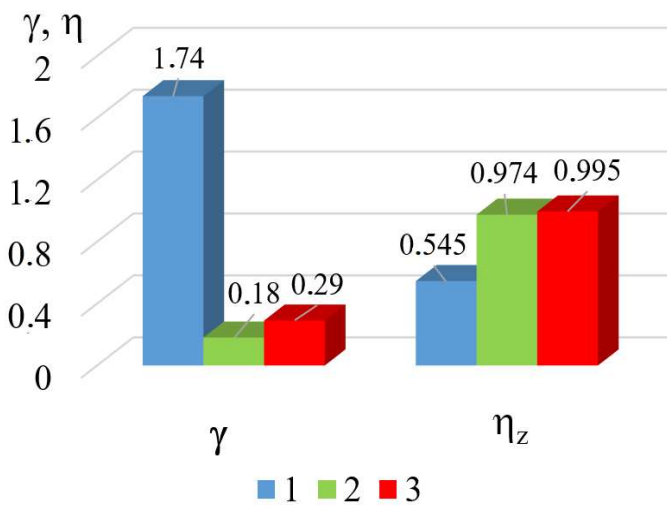


Figure 2. Values of the coefficient of relative unevenness of the temperature field  $\gamma$  and coefficient of the fuel burnup completeness  $\eta_z$  at the outlet from the channel for  $\alpha = 3.0$  at various ratios of the primary and secondary air consumptions  $\varepsilon$ :  
1 –  $\varepsilon = 3.1$ ; 2 – 1.5; 3 – 0.8.

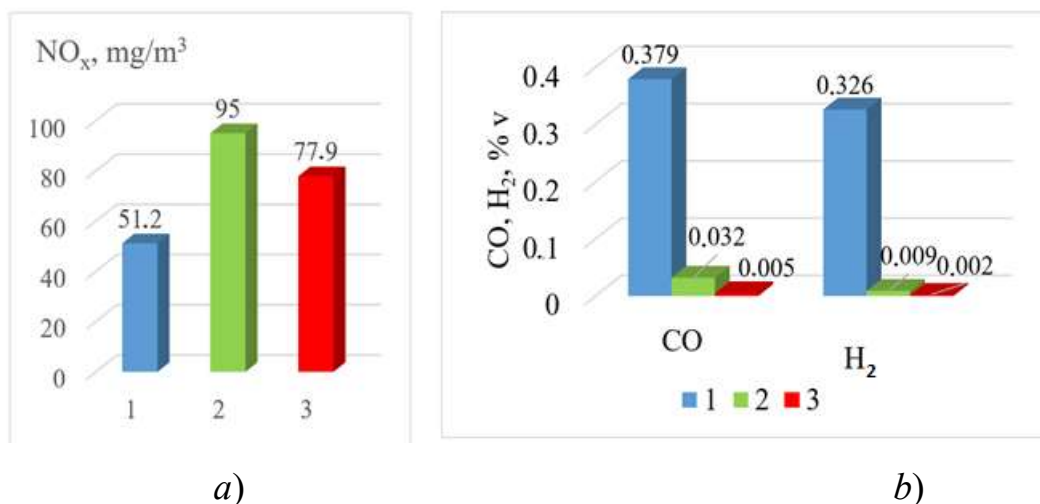


Figure 3. Composition of  $\text{NO}_x$ , (a), CO and  $\text{H}_2$  (b) gases in combustion products for  $\alpha = 3.0$  at various ratios of the primary and secondary air consumptions  $\varepsilon$ :

1 –  $\varepsilon = 3.1$ ; 2 – 1.5; 3 – 0.8

According to the data obtained, in the investigated range of changes in the ratio of primary and secondary air consumptions  $\varepsilon$ , the flow structure, temperature regimes of the combustion zone, and fuel burnup characteristics differ significantly. So, in accordance with the results of computer modeling, given in table 1 and figures 2, 3, combustion of fuel gas at  $\varepsilon = 3.1$  is characterized by significant chemical underburning. In particular, at the outlet of the channel, the fuel burnup coefficient is only 0.545. The highest fuel burnup coefficient occurs when the ratio  $\varepsilon$  is 0.8 over practically the entire length of the channel.

The data shown in Figure 3 *a*, indicate that at  $\varepsilon = 0.8$ , the concentration of nitrogen oxides at the outlet from the channel is relatively low and is only 77.9 mg/m<sup>3</sup>. So for the value of the excess air factor  $\alpha = 3.0$ , the optimal ratio of the primary and secondary air consumptions corresponds to the value  $\varepsilon = 0.8$ . The performed studies on the choice of optimal ratios of the primary and secondary air consumptions (which are regulated by the corresponding ratios of the width of the wall and interstabilizing channels) for various values of  $\alpha$  showed that under the conditions under consideration, these ratios are the same for all values of the excess air coefficient. This optimal ratio corresponds to a value of  $\varepsilon$  equal to 0.8.

Table 2 for the found optimal ratio of the primary and secondary air consumptions  $\varepsilon$  presents the characteristic indicators of the working process of the microflame burner for various values of the excess air factor  $\alpha = 2.0; 3.0$  and 4.0

Table 2.

Composition of gases in combustion products, values of the coefficient of the fuel burnup completeness  $\eta_z$  and the coefficient of relative non-uniformity of the temperature field at the outlet from the channel  $\gamma$  at  $\varepsilon = 0.8$  for different values of the air excess ratio  $\alpha$

Air excess ratio, $\alpha$	Показатели				
	Carbon monoxide CO, % v.	Hydrogen H <sub>2</sub> , % v.	NO <sub>x</sub> , mg/m <sup>3</sup>	$\gamma$	$\eta_z$
$\alpha=2$	0,125	0,067	112,4	0,42	0,999
$\alpha=3$	0,005	0,002	77,9	0,29	0,995
$\alpha=4$	0,015	0,002	70,78	0,27	0,999

As can be seen from Table 2, the coefficient of the fuel burnup completeness  $\eta_z$  at the outlet from the channel approaches unity. At the same time, the concentration of nitrogen oxides does not exceed  $112.4 \text{ mg/m}^3$ , which indicates a sufficiently high energy and environmental efficiency of the investigated burner devices.

### **10.3 Investigation of corrosion damages of heat-exchanging tubes a steam generator pgv-1000 NPP of Ukraine**

A steam generator (SG) PGV-1000 in a power-generating unit of a nuclear power plant (NPP) with pressurized water reactor (water-water energetic reactor (WWER)) is one of the most important and significant element of reactor safety. Cracks and further development of corrosion defects in heat-exchanging tubes (HET) in an SG may lead to depressurization of the primary coolant circuit of a reactor plant. The main reason behind HET damage is stressed corrosion cracking caused by a joint effect of tensile stress and concentrated solution of corrosion-active impurities formed owing to concentrating in sediments [489, 490].

To ensure the safe operation of steam generators (SG), heat-exchanging tubes (HET) are subjected to nondestructive testing. As a consequence, the tubes with defects impermissible for further operation are blanked off. As a certain number of blanked off HET is achieved, the SG is to be replaced. This is connected with economic losses and radiation exposure for NPP personnel [490].

The results based on the analysis of HET corrosive defects of the NPP SG with WWER at Ukrainian and foreign NPP are cited in papers [491-494]; it was determined that the corrosion defects on free areas and under spacing elements tend to appear mainly at a bottom of SG tube bundles (Fig. 1) [489].

Whereupon the defects on free areas localize mainly near hot header (HH). The defects under spacing grates are also situated at the SG bottom but distributed more evenly along with the tube bundle.

On the whole, the SG with HET active degradation is characterized by the formation of so-called “critical areas” where the defects are located. This is due to sedimentation of corrosion product of significant thickness up to complete blocking between tubes [489, 491]. The analysis of service data indicates that first systematic HET blank off done based on ECT results are carried out after accumulation on the HET surface of the significant sedimentation of corrosion products with specific contamination equal to 300-400 g/m<sup>2</sup> [489].

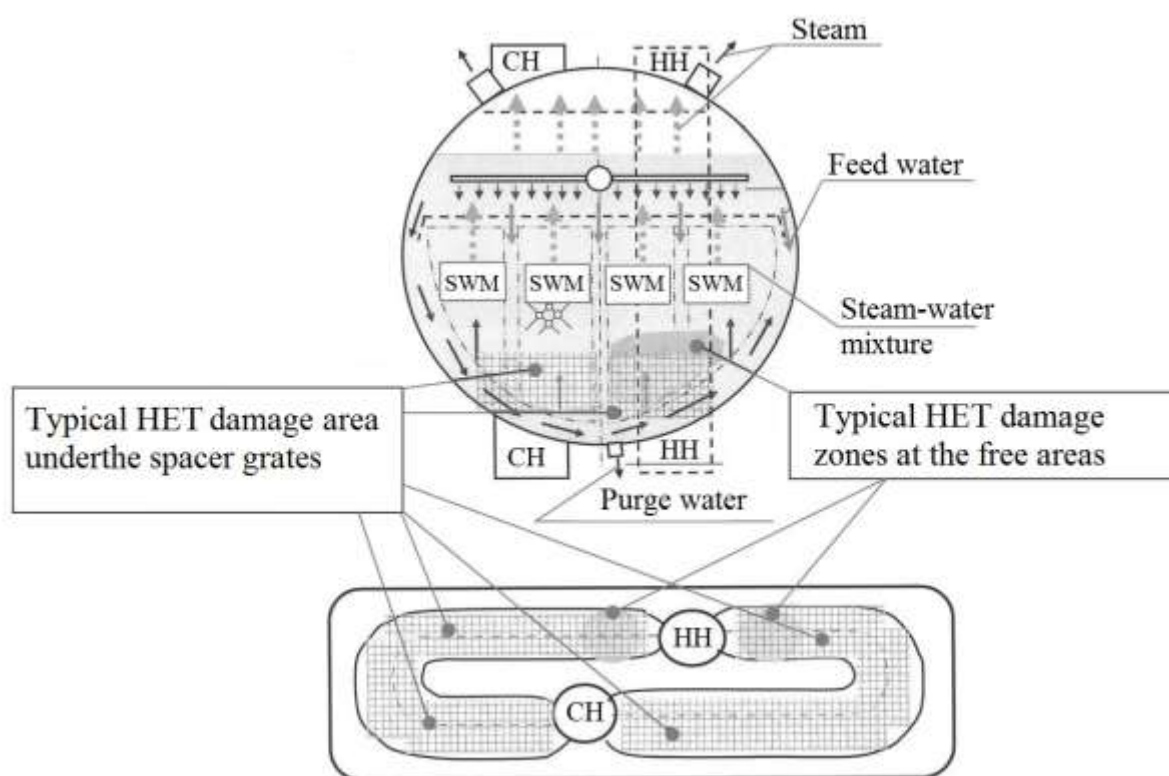


Fig. 1. The steam generator in cross section and plan

The scale formed by SG operation at power is mainly represented by finely dispersed particles (measuring no more than 10  $\mu\text{m}$ ) containing dehydrated oxides, notably the corrosion products of carbon steel and copper alloys which are used as a constructional material for a turbine condenser, tubing and condensing-feeding equipment ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , *etc.*). Moreover, the scale often include slightly soluble salts (usually sulphates, silicates, calcium and magnesium hydrates) which infiltrate into condensing-feeding circuit owing to the leakage of cooling water through rolled-on condenser tubes.

The lower scale layers are of low porosity. The HET scale in SG mainly consists of iron oxide (>70%), copper oxide (is not more than 30%) and calcium, magnesium, silicon oxides (1 to 5% each).

The main mechanism of scale formation is the crystallization of corrosion products from evaporating boiler water, settling finely dispersed impurity particles under the impact of physical and physicochemical driving forces. While scales are forming, during water boiling, a porous continuous canal network grows through which water is fed to HET surface and generated steam is drawn aside.

Taking into account scale porosity and its significant heat conductivity ( $\approx 1.1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) it is worth considering that water boiling inside scale occurs in the sheet of superheated liquid at a HET surface as well as on the surface and within scale. Replacing evaporated water new portions of water come to together with dissolved impurities come to HET surface from flow core. Since the solubility of impurities in steam is lower compared to water, impurities removal by steam does not compensate for their ingress with vaporizing water. So, the difference in concentrations between a boundary layer and flow core appears; as the consequence diffusion materializes directed to concentration leveling. At steady-state operation of the SG, the equilibrium condition appears when convective impurity transport is compensated by their steam removal and diffusion.

The study and analysis of eddy-current testing (ECT) HET SG and metallographic investigations of the HET SG were the topics of this paper. All the identified metal defects can be conditionally divided into four parts: the corrosion pitting of different size, the separate cracks, corrosion cracks and corrosion spots on separate metal areas. The representative examples of HET SG defects and the ECT results obtained by ECT systems “TEDDY-8”, “MIZ-30” and their comparison are demonstrated further.

Based on the results of the performed analyses, it was determined that corrosion pitting is the most frequent one to occur. The pitting corrosion is known as the most dangerous type of local corrosion. Corrosion pitting defects were conditionally distributed into critical and subcritical during the test performance. Critical defects are those which make a further HET operation dangerous. The tubes having such defects should be blanked off. From the standpoint of ECT, the critical corrosion pitting is characterized by a great percentage of metal loss (from 60 to 100%) at signal amplitude equal to 10...20 V (Fig. 2) [489]. Characteristic properties of these defects from the metallography standpoint are as follows. In all the analyzed cases these are large corrosion pitting which have round, oval or elongated longwise shape of the tubes. The defects have the dimensions in 2...4 mm range on the tube metal surface. The corrosion products sediments have the intricate shape in the form of coaxial circles positioned around a central hollow – a pitting core. In most cases the cracks are propagated from

corrosion pitting predominately longways the tube surface; the cracks may be up to 20 mm long [489].

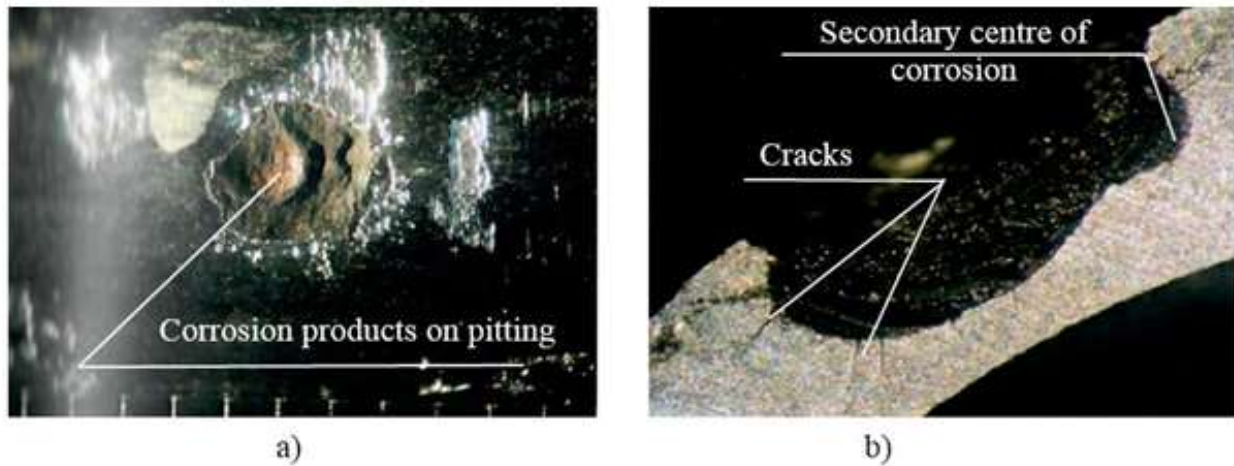


Fig. 2. Critical round shape corrosion pitting:

- a) Defect appearance on the HET surface;
- b) Defect appearance on the metallographic section

So, the course of corrosion processes on HET surface for various SG operational conditions is peculiar. These processes are not always inevitable and may be eliminated or minimized if we follow the below rules:

- avoidance of exceeding the limiting specific contamination at HET by limiting the corrosion product ingress into SG;
- exclusion of copper-bearing alloys from condensation-feeding equipment of NPP with WWER-1000 reaction plant;
- limitation of oxygen access to HET during SG life cycle, observing the conservation rules.

This paper discusses mechanisms of corrosion damage for heat-exchanging tubes (HET) of a PGV-1000 steam generator (SG), the effect of different SG operation conditions that influence the HET corrosion damages. The analysis and classification of the defects which form in SG HET was performed, as was the comparative analysis of eddy-current testing (ECT) which was formed by two various ECT “TEDDY-8” and “MIZ-30” systems (according to the signal amplitude and “metal loss”) and juxtaposed with metallographic analysis data. According to the ECT data, the peculiarities of

current-carrying sediment on the SG HET within so-called “critical zone” where the defects localize were confirmed.



## 10.4 Recommendations for reforming the coal industry of Ukraine

На протязі 1999–2013 років рівень видобутку вугілля в Україні залишався практично незмінним у діапазоні 72–86 млн т вугілля на рік (рис. 1). В 2014–2015 роках через воєнні дії спостерігається катастрофічне падіння вуглевидобування. В 2015–2016 рр. видобуток впав до 40 млн т. У 2017, 2018, 2019 і 2020 роках було видобуто 35, 33, 31 і 29 млн т вугілля відповідно.

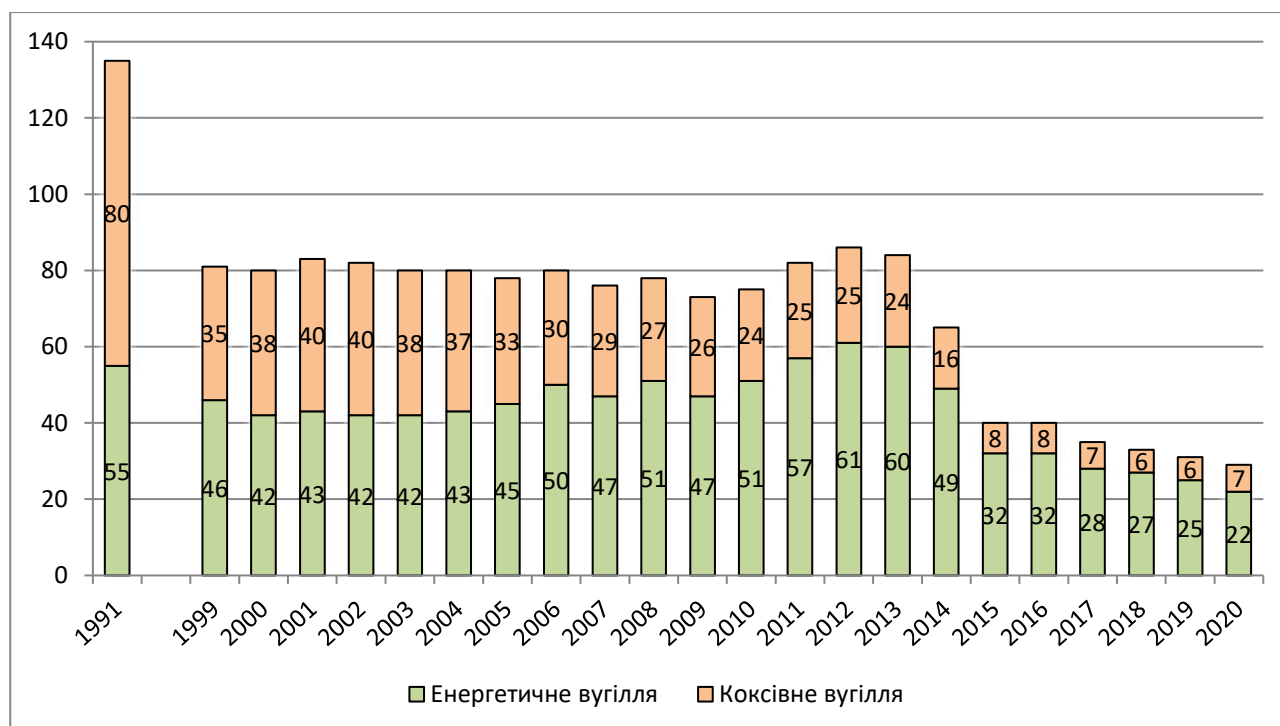


Рисунок 1. Динаміка видобутку вугілля в Україні, млн т

Мета реформування вугільної галузі України – стимулювання зниження витрат, підвищення продуктивності праці та створення економічно стабільної галузі, яка складається з рентабельних підприємств, здатних існувати без державної підтримки і задовольняти потребу економіки у вугіллі.

Питаннями реформування вугільної галузі займалися багато чисельні державні структури, НДІ та вчені Німеччини, Великобританії, США, Франції, Росії тощо [495, 496]. Аналіз публікацій показує, що проблема у багатьох країнах вирішувалась різними шляхами з урахуванням специфіки умов, що склалися.

Кажучи про головні недоліки реформування вугільної галузі України, слід відзначити, що воно відбувалось, не враховуючи особливостей функціонування

вугледобувних підприємств України, гірничо-геологічні умови розробки її вугільних покладів і не супроводжувалось науковим забезпеченням. Всупереч думки вчених і спеціалістів-практиків, рішення приймались поспіхом, економічно не обґрунтовувались та носили суперечливий характер.

В найближчі роки необхідно переломити кризову ситуацію, яка склалась у вугільній галузі України. Якщо її не змінити, то стверджувати, що вугілля є гарантом енергетичної безпеки України буде не можливо.

Оптимальний варіант реформування галузі [497] полягає у проведенні комплексу ефективних заходів оновлення шахтного фонду, а саме:

- оптимізація непрофільних активів вугледобувних підприємств;
- підвищення інвестиційної привабливості вугледобувних підприємств;
- визначення механізму соціального захисту працівників, що вивільняються, та розв'язанні екологічних проблем;
- прискорення темпів підготовки шахт до приватизації;
- визначення заходів із зменшення собівартості готової вугільної продукції;
- приведення ціни вугільної продукції до економічно обґрунтованого рівня.

Виконання даних вимог дасть змогу здійснити заходи з ліквідації збиткових шахт, вивести вугільні підприємства на беззбитковий рівень роботи з виробничим потенціалом для забезпечення енергетичної безпеки країни, створити умови для реального залучення приватних інвестицій у розвиток вугледобувних підприємств з наступною їх приватизацією.

Даний варіант повинен передбачати надання підтримки з боку держави на загальних засадах відповідно до законодавства протягом обмеженого періоду часу. Основним ризиком у застосуванні такого підходу є залежність строку технічного переоснащення перспективних та ліквідації або консервації вугледобувних підприємств від стабільного і в повному обсязі фінансування.

Під час реформування державних підприємств вугільної галузі передбачається шахтний фонд розподілити за такими групами:

- перспективні шахти, які мають значний обсяг промислових запасів вугілля і можливість в найкоротший строк виходу на беззбитковий рівень роботи;

- неперспективні шахти, які розподіляються на дві підгрупи:

- шахти, що підлягають консервації – це шахти з низькими техніко-економічними показниками, високим рівнем зношення шахтного фонду, необхідним значним обсягом капітальних інвестицій для виведення шахти на беззбитковий рівень роботи та великим обсягом запасів вугілля;

- шахти, що підлягають ліквідації – це шахти, які відпрацьовують залишкові обсяги промислових запасів або не мають можливості виходу на беззбитковий рівень роботи.

У рамках реалізації рекомендацій необхідно забезпечити:

- визначення балансу попиту та пропозиції на вугільну продукцію в державі та відповідно частки продукції в ньому підприємств державного сектору;

- здійснення заходів з метою зменшення витрат та збільшення доходів шляхом прискорення підготовки до ліквідації неперспективних шахт за затвердженою методикою визначення перспективності шахт та безумовне їх виконання у визначені строки, оптимізації структури управлінського персоналу, чисельності робітників шахт і підпорядкованості підприємств допоміжного призначення, об'єктів соціальної інфраструктури тощо;

- створення умов для зниження собівартості видобутку вугільної продукції;

- проведення максимально прозорих процедур тендерних торгів на закупівлю обладнання, матеріалів та послуг для потреб підприємств галузі;

- запровадження дієвого механізму працевлаштування та соціального захисту працівників, які будуть вивільнені у зв'язку з ліквідацією або консервацією шахт;

- створення сприятливих умов для приватизації шахт;

- створення засад для функціонування вільного ринку вугілля, зокрема вжиття заходів до встановлення ринкової ціни реалізації вугільної продукції, ліквідації посередників;

- оптимізацію непрофільних активів вугледобувних підприємств.

Реалізація напрямів дасть змогу забезпечити:

- оптимізацію структури державних вугледобувних підприємств;

- створення належних умов для приватизації вугледобувних підприємств з виробничим потенціалом, який забезпечить енергетичну безпеку країни;
- оптимізацію та поступове припинення державної підтримки галузі;
- звільнення від непрофільних активів вугільної галузі;
- запровадження механізму соціального захисту працівників, які будуть вивільнені у зв'язку з ліквідацією або консервацією шахт;
- повне, своєчасне та безперервне задоволення зростаючих потреб національної економіки якісною вітчизняною вугільною продукцією за максимального рівня промислової та екологічної безпеки;
- надання соціальних пільг та гарантій, визначених законодавством для працівників підприємств вугільної галузі.

Враховуючи дефіцит коштів держбюджету на реструктуризацію галузі, тривалість процедури підготовки до ліквідації, процес закриття підприємств займе не менше 5–7 років. За попередніми оцінками з нинішнього шахтного фонду до безперспективних можна віднести близько 20 шахт, що мають промислові запаси, розробка яких, по-перше, знизить навантаження на бюджет, а, по-друге, забезпечить ринок додатковими обсягами вугілля. Тому в період ліквідації цих шахт повинні бути в індивідуальному порядку розглянуті варіанти використання різних видів стимулювання залучення приватних інвестицій у розробку цих запасів [498].

Необхідно створення більш ефективних способів розробки родовищ, технологій і технічних засобів видобутку вугілля на пластах малої потужності на великих глибинах, розширити масштаби нового будівництва та реконструкції шахт з різким збільшенням виробничої потужності.

Треба врахувати, що в останні роки остаточно зруйновано виробниче об'єднання ВО «Укрвуглегеологія». Розвідка вугільних родовищ практично не ведеться. При наявності значних запасів вугілля країна залишиться без розвіданих запасів для відтворення шахтного фонду.

Нагальною потребою є використання теплової енергії глибинних порід, освітлення шахтних вод до стану питної, відновлення досліджень з підземної

газифікації вугілля і, звичайно, утилізація шахтного газу – метану з отриманням з нього електро- і теплоенергії.

Тому вирішальним напрямом реформування вугільної галузі повинна стати докорінна перебудова, а по суті створення нової галузі шляхом реконструкції найбільш перспективних шахт з обов'язковим збільшенням виробничої потужності і повним технічним переоснащенням, відродження буровугільного комплексу, а також будівництво нових шахт.

Наступним кроком реформування галузі є лібералізація ринку вугілля, оскільки сьогодні формування цін на вугілля не базується на ринкових умовах, а служить механізмом для компенсації витрат вугільних шахт. Такий підхід призводить до відсутності стимулів для підвищення ефективності життєздатних підприємств і невиправданої підтримки глибоко збиткових шахт. Доходи в галузі розподіляються неефективно, що заважає її розвитку і виходу на рентабельний рівень.

## 10.5 Check of maintenance of guarantee indicators of PIII-54M2 of a boiler of TII-100

One of the measures to form the country's energy security is the efficient use of the thermal energy. The priority in this direction is the adoption of the latest technologies and effective solutions, which are aimed at reducing the state's dependence on energy imports, increasing the competitiveness of domestic production, reducing the man-made load on the environment. Today, the problem of energy efficiency and energy intensity is a key problem for all industries of Ukraine.

The main part of the introduced capacities in Ukraine belongs to thermal power plants (TPPs), which are operated on solid, liquid and gaseous fuels. The increase in fuel consumption and its cost at TPPs prompts to the need to improve combustion processes and waste gas heat recovery processes. Thus, increasing the efficiency and reliability of modern boiler units is one of the main tasks of energy.

The purpose of research of the reconstructed air heaters of the boiler TII-100 was to determine the warranty indicators of its operation in accordance with the passport data [499].

The main operating parameters of the boiler and auxiliary equipment were determined by the devices of regular control of the unit and local control panels, indications of the control and monitoring system (CMS) of the unit.

The results of analyzes of solid fuel samples  $(Q_l^w, A^w, W^w, S^w, V^f)$ , coal dust  $(W^c, R_{90})$ , the content of combustibles in the removal of flue gas and slag ( $C_{removal}$ ,  $C_{slag}$ ) were obtained from the fuel laboratory of the chemistry department of TPP.

**Brief description of the equipment.** The boiler TII-100 was equipped with four regenerative air heaters of the type PIII-54M2, each of which had 24 sectors - 13 sectors were in the gas part, 9 - in the air one, 2 sectors - under radial seals.

During the overhaul of the power unit, the existing regenerative air heaters (RAHs) were replaced with new ones - PIII-54M2 with the same number of sectors in the gas and air part of the air heaters - 11 sectors and 2 sectors, which are closed by radial seals.

According to the technical requirements for PIII-54M2, the following performance of air heaters must be guaranteed:

- suction in the RAH – 8% ±1% determined according to the ASME PTC method "EMAlliance" [500] guaranteed the following performance of air heaters;

- maintaining the temperature of the exhaust gases at 142 ÷ 145 °C, heating the air to the temperature of 235 ÷ 240 °C at the temperature of the air at the inlet of the air heater – 50 °C and the calculated temperature of the flue gases before RAH – 288 °C.

These indicators were determined in the course of these tests and subsequent calculations based on these measurements.

**Test methods and scope of measurements.** Tests of regenerative air heaters were carried out according to [501, 502, 503, 504].

The tests were performed on a working boiler after performing work on the adjustment of radial and axial seals of the RAH at the load of the boiler with a feed water consumption of 580 t/h (power unit  $N_{el.} = 191.5$  MW) on each of the four RAHs.

During the determination of the velocity of air and flue gases before and after RAH detected significant pulsation of the medium in the boxes, the nonuniformity of the flow, which did not allow the use of measurement data for analysis.

Rarefaction was determined using U-shaped tubes. The values of overflow and transfer of the working medium were determined by two methods.

The first method of determination: according to the standard method ASME PTC 4.3-91 [500], where the suction in RAH in percent are defined as the ratio of the amount of air flowing into the flue gases to the amount of flue gases at the inlet to the RAH. The calculation is based on the content of carbon dioxide ( $CO_2$ ) in the flue gases and is determined by the indicator  $\varphi_{\text{overflow}}$ , %:

$$\varphi_{\text{overflow}} = \frac{\%CO_{2RAH}^{\text{inlet}} - \%CO_{2RAH}^{\text{outlet}}}{\%CO_{2RAH}^{\text{outlet}}} . \quad (1)$$

The second method of determination: according to the method [502], according to which air suction is defined as the difference of the coefficients of excess air before and after the RAH :

$$\Delta\alpha = \alpha''_{RAH} - \alpha'_{RAH}, \quad (2)$$

where according to [503]

$$\alpha = \frac{21 - 0,02 \cdot O_2}{21 - O_2}. \quad (3)$$

### Test results.

For each PIII-54M2 the fields at the inlet and outlet were removed by determining the composition ( $RO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $O_2$ ) and flue gas temperatures [505].

The boiler was working while the burning coal. The operating parameters were kept constant - according to the regime map. The scheme of measurements during the study of the gas-air path of the boiler is shown in Fig. 1.

Determination of the composition of combustion products was performed by gas analyzers DAG 500 and TESTO 350 S/L. The insertion places of fittings and measuring points are shown in Fig. 2.

The average values of the content in the products of combustion of  $CO_2$ , air overflow into the flue gases, oxygen at the inlet and outlet of each of the PIII-54M2, excess air, air suction, obtained during the tests are presented in tables 1 and 2.

Measured values of rarefaction and pressures before and after the RAH behind gas and air parts of each air heater are presented in table 3.

The average values of the results of temperature measurements at the inlet of the RAH and at the outlet of the RAH on the gas and air parts of each air heater are given in table 4.

After checking the warranty indicators, measurements of differential pressure and rarefaction on the air and gas sides of the RAH at a nominal load of the unit at a feed water consumption of 638 t/h were carried out. The data are given in table 5.



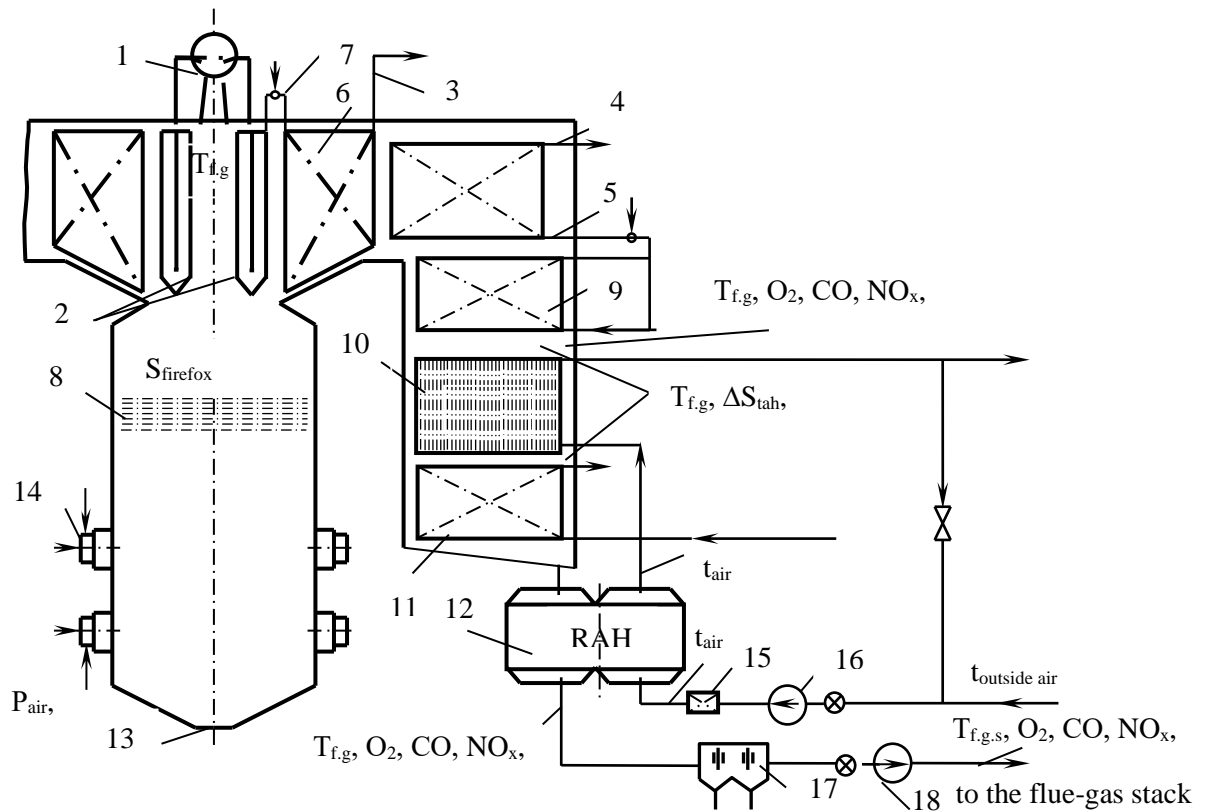


Figure 1. Scheme of measurements during the study of the gas-air path of the boiler TII-100: 1 - drum; 2 - platen superheater; 3 – output convective part of the superheater; 4 – output stage of the intermediate superheater; 5 – input stage of the intermediate superheater; 6 – middle convective part of the superheater; 7 – cold convective part of the superheater; 8 – radiation wall superheater; 9 – regulating degree of an intermediate superheater; 10 – tubular air heater; 11 – water economizer; 12 - regenerative air heater; 13 – outlet of slag; 14 – burner; 15 - heater; 16 – blast fan; 17 – electrostatic precipitators; 18 – smoker

Table 1.

The value of CO<sub>2</sub> content in the combustion products  
at the inlet and outlet of each PIII-54M2

Name	Contents CO <sub>2</sub>		% overflow (according to the formula 1)
	at the input of the RAH, %	at the output of the RAH, %	
PIII-54M2-7A	13,45	12,47	7,86
PIII -54M2-7Б	13,13	12,50	5,04
PIII -54M2-7B	11,89	10,97	8,39
PIII -54M2-7Г	12,21	11,17	9,31

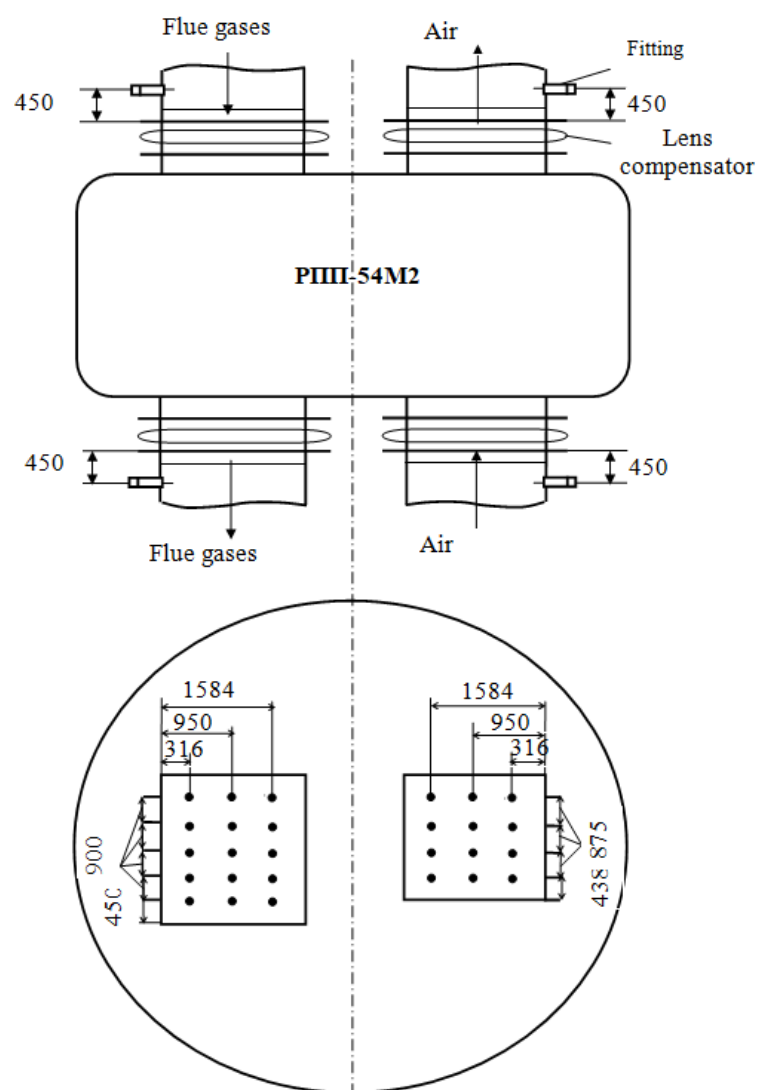


Figure 2. The scheme with the specified places of insertion of fittings and points of measurements

Table 2.

Values of CO<sub>2</sub> content in combustion products and excess air at the inlet and outlet of each PIII-54M2

Name	Contents CO <sub>2</sub>		Excess air		% overflow (according to the formula 2)
	at the inlet of the RAH, %	at the outlet of the RAH, %	at the inlet of the RAH,	at the output of the RAH,	
PIII-54M2-7A	5,9	6,98	1,383	1,488	10,5
PIII -54M2-7Б	6,26	6,97	1,416	1,487	7,07
PIII -54M2-7B	7,64	8,67	1,560	1,689	12,87
PIII -54M2-7Г	7,3	8,45	1,522	1,660	13,77

Table 3

Values of rarefaction and pressures before and after RAH behind gas and air parts of each air heater

Name and place of measurement		At the inlet of the RAH, $\text{kp/m}^2$	At the outlet of the RAH, $\text{kp/m}^2$	The difference, $\text{kp/m}^2$
PIII-54M2-7A	Gas side	150	235	85
	Air side	155	115	40
PIII-54M2-7B	Gas side	150	225	75
	Air side	155	115	40
PIII-54M2-7B	Gas side	152	240	88
	Air side	180	140	40
PIII-54M2-7Г	Gas side	155	240	85
	Air side	185	140	45

Table 4.

The value of the results of temperature measurements at the inlet and outlet of RAH from the gas and air parts of each air heater

Name and place of measurement		At the input of the RAH, $^{\circ}\text{C}$	At the output of the RAH, $^{\circ}\text{C}$	The difference of Temperatures $^{\circ}\text{C}$
PIII-54M2-7A	Gas side	300	160	140
	Air side	52	266	214
PIII-54M2-7B	Gas side	297	152	145
	Air side	49	252	203
PIII-54M2-7B	Gas side	303	148	155
	Air side	58	267	209
PIII-54M2-7Г	Gas side	296	159	136
	Air side	58	263	205

According to the recommendations and preliminary conclusions, water washing was performed on four RAHs, after which the RAH resistance on the gas side decreased. The results of measurements of air pressure and flue gas rarefaction before and after RAH after washing are given in table. 6.

Table 5

Measurements of differential pressure and rarefaction on the air and gas sides of RAH at nominal load of the unit at a feed water consumption of 638 t/h

Name and place of measurement		At the inlet of the RAH, kp/m <sup>2</sup>	At the outlet of the RAH, kp/m <sup>2</sup>	The difference, kp/m <sup>2</sup>
PIII-54M2-7A	Gas side	170	272	102
	Air side	199	155	44
PIII-54M2-7Б	Gas side	180	270	90
	Air side	200	155	45
PIII-54M2-7B	Gas side	170	270	100
	Air side	205	160	45
PIII-54M2-7Г	Gas side	174	270	96
	Air side	210	160	50

Table 6.

Measurements of air pressures and flue gas rarefaction before and after the RAH after water washing

Name and place of measurement		At the inlet of the RAH, kp/m <sup>2</sup>	At the outlet of the RAH, kp/m <sup>2</sup>	The difference, kp/m <sup>2</sup>
PIII-54M2-7A	Gas side	140	225	85
	Air side	140	95	45
PIII-54M2-7Б	Gas side	145	225	80
	Air side	135	95	40
PIII-54M2-7B	Gas side	140	225	85
	Air side	150	125	25
PIII-54M2-7Г	Gas side	145	225	80
	Air side	150	125	25

As a result of the performed researches of PIII-54M2 is established:

1. Overflows in RAH determined according to the ASME PTC 4.3-91 method are 7.86; 5.04; 8.39; and 9.31% with a guaranteed 8% ± 1%.
2. Overflows determined by excess air are 10.5; 7.07; 12.87 and 13.77%.

3. The RAH resistance on the air side is 40, 40, 40 and 45 kp/cm<sup>2</sup> at rated load and operationally clean tier of the RAH.

4. RAH resistance on the gas side is 85, 75, 88 and 85 kp/cm<sup>2</sup> at rated load and operationally clean tier of the RAH.

5. The temperature of hot air after RAH is 266, 252, 267 and 263 °C at the inlet of the RAH the air temperature is 50 ÷ 55 °C.

6. The temperature difference on the gas side at RAH is 140, 145, 155 and 136 °C.

It is recommended that the RAH blowing be performed once per shift to ensure normal operating conditions according to the operating instructions. If the pressure difference in the air heater increases by 50% of the nominal value, it is necessary to carry out the water washing of the RAH.



$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\eta \vec{v}_h) = \vec{\nabla} \cdot (D_h \vec{\nabla} \eta) + x \psi$$

де  $\vec{v}_h$  - швидкість фази  $\eta$ ;  $D_h$  - ефективний коефіцієнт дифузії, що враховує турбулентні складові;  $x = \rho_s^o / \rho_l^o$  - малий параметр;  $\psi$  - об'ємна густина джерела шлакової фази. Результати розрахунків (для одного сопла) розподілу шлаку за щільністю на стіні конвертера перенесені у тривимірний простір (рис. 1, б).

На утримання нанесеного шару шлаку суттєво впливають його температура, в'язкість та градієнт температур у робочому просторі й на границі «шлак-вогнетрив». Підвищити в'язкість конвертерного шлаку можливо за рахунок підвищення вмісту CaO і MgO, а наявність в ньому нерозчинених часток викликає значне збільшення внутрішнього тертя та перешкоджає оповзанню з вертикальних стін. У основному шлаку такими частинками можуть бути кристали MgO, CaO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та ін. Для визначення впливу розміру часток MgO при зміні вмісту CaO і MgO у кінцевому конвертерному шлаку була застосована методика повного факторного експерименту. У зразки шлаку з вмістом, %: 46,8CaO, 4,7MgO, 14,6SiO<sub>2</sub>, 25,4FeO, додавали чисті CaO, MgO ( $\pm 5 \dots 20\%$  та  $\pm 5 \dots 10\%$  відповідно) та частки MgO фракцій (від 0,63 до 3,6 мм), у кількості 6...8% від маси шлаку.

У якості параметру оптимізації прийняли величину крайового кута змочування  $\theta$ , у якості факторів:  $X_1$  – добавка CaO, %;  $X_2$  – добавка MgO, %;  $X_3$  – розмір часток MgO, мм. Підготовлений зразок модифікованого шлаку у вигляді циліндра діаметром 8 мм та висотою 10 мм встановлювали на підложку, виготовлену з периклазовуглецевого вогнетриву (марки PC-14F), вилученого з футерівки кисневого конвертера, та нагрівали у печі Таммана у атмосфері азоту за методикою [509]. За результатами обробки отриманих даних крайовий кут змочування вогнетриву шлаком, модифікованим добавками CaO та MgO, можна визначити за виразом

$$\theta = 46,162 + 2,78\text{CaO} + 5,041\text{MgO} - 0,424\text{CaO} \cdot \text{MgO}$$

а сумісний вплив зміни (CaO), (MgO), % у шлаку та розміру часток  $D$ , мм на крайовий кут змочування, за виразом

$$Y = -43,297 + 5,9157CaO + 13,465MgO + 35,0596D - 0,738CaO \cdot MgO - 2,375CaO \cdot D - 4,9129MgO \cdot D + 0,327CaO \cdot MgO \cdot D$$

Поверхні відгуку, отримані чисельним моделюванням з використанням наведених вище виразів, для шлаку з нерозчиненими частками MgO фракцій 0,63...1,0 мм (*a*) та 3,0...3,6 мм (*б*), представлені на рис. 2.

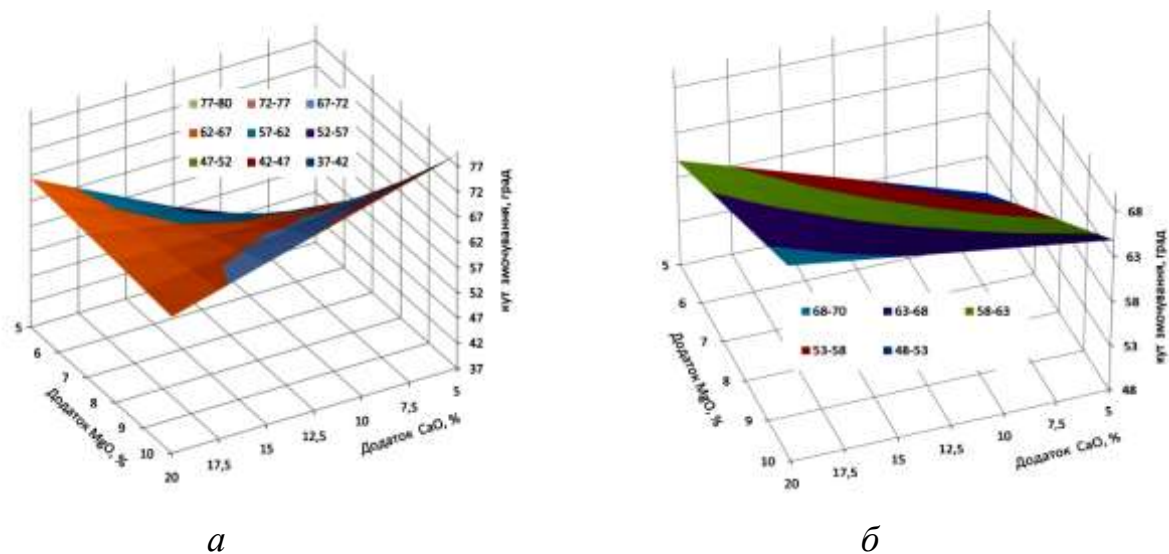


Рисунок 2. Вплив зміни вмісту (CaO) та (MgO), % на крайовий кут змочування при введенні часток розміром 0,63...1,0 мм (*a*) та 3,0...3,6 мм (*б*)

Показано, що введення до шлаку часток більше 3,0 мм призводить до перманентного зростання  $\theta$  пропорційно збільшенню (CaO) та (MgO), що негативно впливає на площу розтікання шлаку по поверхні вогнетриву. Внесення тугоплавких часток (6...8 % від маси шлаку) змінює роботу адгезії на 0,1...0,9 Н/м<sup>2</sup>, у залежності від співвідношення (CaO)/(MgO). Раціональним визнано розосереджене у часі внесення до шлаку часток діаметром 1,5...2,5 мм.

У відомих моделях для опису механізму формування шлакового гарнісажу не враховується вплив зменшення товщини футерівки на динаміку нарощування гарнісажного шару пов'язану з температурними градієнтами. Чисельне дослідження теплового стану системи «шлаковий гарнісаж – футерівка конвертера», для врахування температурних градієнтів, проводили з



використанням розробленої математичної моделі [510], у якій теплову сторону нанесення шару гарнісажу на стіни конвертера описано як

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\vec{\nabla} \cdot (T\vec{V}) + \frac{\lambda'_e}{C\rho} \Delta T,$$

де  $T$  - температура середовища;  $t$  - тривалість процесу роздування;  $\vec{V}$  - швидкість середовища;  $\lambda'_e$  - ефективна теплопровідність середовища, що враховує турбулентні ефекти;  $C$  - теплоємність дисперсної фази;  $\rho = \rho^0 \alpha$  - густина середовища, що дорівнює множинню дійсної густини шлаку на його об'ємну концентрацію. Рівняння вирішувалось методом кінцевих різниць.

На рис. 3 представлені результати моделювання розподілу температур в робочому просторі конвертера, у гарнісажному шарі та у шарі футерівки.

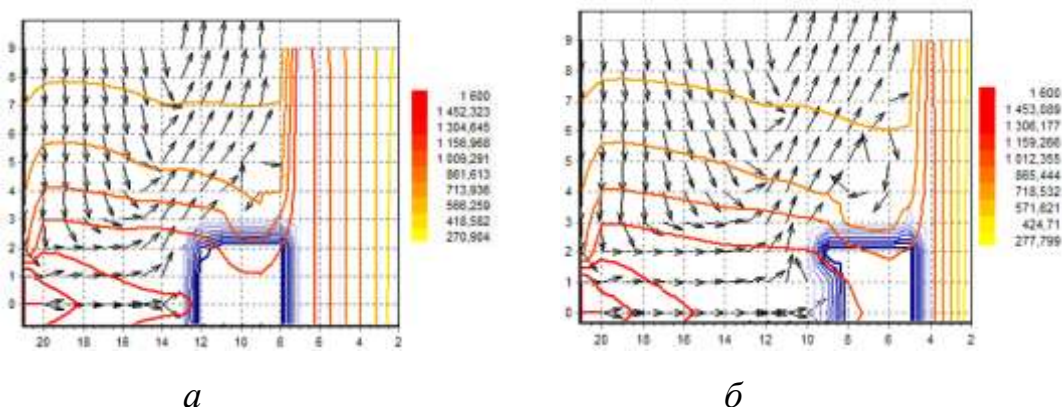


Рисунок 3. Результати моделювання розподілу температур у робочому просторі конвертера при різній товщині футерівки конвертера: а) 800 мм, б) 400 мм

При товщині футерівки понад 600 мм (рис. 3, а) температура зовнішнього кожуху конвертера залишається практично незмінною. У такому випадку найбільший вплив на умови формування гарнісажу мають теплоізолюючі властивості футерівки та шару гарнісажу. При зменшенні товщини футерівки до 400...200 мм інтенсивність тепловідведення від кожуху до оточуючого середовища збільшується (рис. 3, б), температура нанесеного шлакового шару у зоні контакту з футерівкою при цьому зменшується. Таким чином,

забезпечуються умови для інтенсифікації кристалізації шлаку та формування гарнісажного шару підвищеної товщини.

Чисельним моделюванням підтверджена можливість керування товщиною шлакового гарнісажу у визначених секторах стін конвертера та доцільність організації примусового локального охолодження футерівки для підвищення ефективності операції її ошлакування, міцності гарнісажного шару та тривалості кампанії агрегату по футерівці.

## 10.7 Вивчення ефективності застосування мікрохвильового нагріву нафтопродуктів

Розглядається задача оптимізації нагріву нафтопродуктів при зливі з залізничних цистерн при використанні мікрохвильового нагрівання. Встановлено, що мікрохвильовий нагрів дозволяє значно спростити технологічну схему, виключивши всі процеси і апарати, пов'язані з підготовкою теплоносія. Визначено, що в даний час існуючі патенти і технічні рішення, запропоновані до застосування мікрохвильового нагріву для розігріву нафтопродуктів, припускають, що мікрохвильова енергія падає на вільну поверхню рідини. Стверджується, що недоліком подібних схем є істотна нерівномірність нагріву внаслідок того, що мікрохвильова енергія швидко згасає при просуванні вглиб цистерни. Відзначається, що при нагріванні від поверхні рідини в цистерні відстань від джерела до зливного отвору досить велика, внаслідок чого неможливе ефективне використання мікрохвильового нагріву. Запропоновано спосіб вирішення цієї проблеми, що полягає в установці мікрохвильового пристрою всередині порожнистої труби, яка безпосередньо приєднується до верхнього люка при підготовці до відкачування і занурюється в нафтопродукт на глибину, що корелюється з глибиною проникнення мікрохвильового поля в конкретному продукті. Проведено оцінку глибини проникнення мікрохвильової енергії в досліджуваній нафтопродукт - мазут, на підставі якої рекомендовано встановлювати відстань від випромінювача до зливного отвору. Стверджується, що моделювання мікрохвильового нагрівання доцільно проводити на основі диференціального рівняння теплопровідності з урахуванням внутрішніх джерел теплоти. Представлено математичну модель, що описує нагрівання об'єму високов'язких нафтопродуктів як процес теплопровідності в необмеженому масиві при дії мікрохвильового випромінювання. На прикладі мазуту проведені розрахунки з використанням методу кінцевих різниць, які показали розподіл температур в масиві в різні моменти часу.

*Ключові слова: мікрохвильова енергія, температура, теплопровідність, глибина проникнення, потужність, злив нафтопродукту, цистерна*

## **1. Вступ**

При створенні ресурсо- та енергозберігаючих, екологічно безпечних технологій застосування мікрохвильового випромінювання є одним з найперспективніших напрямів. Нагрівання в мікрохвильовому полі характеризується високою швидкістю і великою ефективністю. Застосування енергії мікрохвиль замість використовуваних в даний час в більшості промислових установок теплоносіїв дозволяє значно спростити технологічну схему, виключивши всі процеси і апарати, пов'язані з підготовкою теплоносія, а також шкідливі викиди в атмосферу. Проведення досліджень, пов'язаних з визначенням оптимізації впливу мікрохвильового випромінювання на перебіг ряду хімічних і нафтохімічних процесів, є важливим і актуальним напрямком інтенсифікації цих процесів, як на лабораторному рівні, так і в промисловому масштабі. Одним з напрямків застосування мікрохвильового нагріву є нагрів високов'язких нафт, що забезпечує значне зниження в'язкості продукту. Актуальним завданням транспортування в'язких нафтопродуктів є їх розвантаження з ємностей зберігання або транспортування, наприклад, з залізничних цистерн. Злив ведуть з використанням декількох способів: більш текучим розчинником, за допомогою підігріву продукту насиченою водяною парою, з використанням мікрохвильових установок, циркуляційним методом з використанням змієвикових підігрівачів, а також модифікаціями і комбінуванням цих методів. Підігрів продукту насиченою водяною відкритою парою неможливий для деяких продуктів, що не допускають обводнення, наприклад, мазуту, тому що в результаті обводнення знижується ефективність горіння мазуту в топках котлів. Крім цього пар, погано перемішується з мазутом, а також кипляча вода, що конденсується з пари, на холодному мазуті спінує продукт, що може привести до викиду продукту в люк. Вважається перспективним застосування енергії мікрохвильового поля, однак недоліком

цього методу є нерівномірний нагрів, також пов'язаний з низькою теплопровідністю продукту і практично повною відсутністю конвекції нафтопродукту в цистерні.

## **2. Аналіз літературних джерел**

Для розвитку методу мікрохвильового нагріву нафти проводиться вивчення теплових ефектів і температурних полів в продукті. Дослідження [511] направлено на підвищення ефективності теплопередачі в'язкої нафти і рішення проблем нерівномірного розподілу температури і поглинання енергії в процесі нагрівання нафти в нафтовому резервуарі. Розподіл температури нафтопродукту більш збалансований при комбінованому впливі джерел нагріву. Результати цього дослідження можуть надати теоретичну основу для вивчення закону теплопередачі в процесі комбінованого нагріву парою нафтових цистерн і мікрохвильового нагріву. В [512] розглядаються особливості нагріву нафтопродуктів в мікрохвильовому полі і представлена базова теорія ефективного нагріву. При цьому слід уникати перегріву нафти в локальних її областях [513], що збільшує ризик вибуху. Акагі і Като [514] вивчали вплив коефіцієнта конвективної тепловіддачі по теплообміну і розподілу температури при підігріві в'язкої нафти. Вей та інші [515], Маканьян і інші [516], Ху [517], Чжу та інші [518] досліджували зміну характеристик поля температури і витрати методами чисельного моделювання та отримали характеристики процесу нагріву нафтопродуктів.

Розроблені технології мікрохвильового нагріву характеризуються високою інтенсивністю і ефективністю. Ці переваги дозволяють використовувати мікрохвильовий нагрів при сушінні харчових продуктів, зниження в'язкості масла, поділу емульгування олії і води і т.д. [519-520]. Згідно з аналізом температурного поля в'язкої нафти, нерівномірний розподіл мікрохвильового поля в резервуарі з маслом викличе регіональні відмінності в розподілі поля температури. З точки зору аналізу процесу теплопередачі [511], під час мікрохвильового нагріву молекули масла стрімко рухаються і починають

швидко проникати в інші області. Макроскопічно гарячий нафтопродукт переносить енергію до області з більш низькою температурою за рахунок теплопровідності. При цьому ефект теплопровідності є визначальним в порівнянні з природною конвекцією,

Визначено [511, 521-522], що мікрохвильова енергія інтенсивно поглинається в'язким нафтопродуктом. Аналіз літературних даних свідчить, що метод мікрохвильового нагріву нафтоналивних танкерів є здійсненим і його доцільно досліджувати для подальшого застосування в промисловості. Однак існує необхідність проведення аналітичних і експериментальних досліджень процесу нагріву нафтопродуктів в мікрохвильовому полі для вирішення окремих завдань, однією з яких є інтенсифікація зливу високов'язких нафтопродуктів з залізничних цистерн.

### **Аналітичне дослідження процесу мікрохвильового нагріву високов'язких нафтопродуктів**

Для опису процесу нагріву циліндричного резервуара з нафтопродуктами, що піддаються впливу високочастотного електромагнітного випромінювання, в [523] застосовано рівняння теплопровідності в циліндричних координатах. Аналіз роботи дозволяє зробити висновок, що запропонований метод математичного моделювання мікрохвильового нагрівання нафтопродуктів може бути прийнятий за основу. Моделювання мікрохвильового нагріву високов'язких нафтопродуктів доцільно проводити на основі диференціального рівняння теплопровідності з урахуванням внутрішніх джерел теплоти. Однак безпосередньо використовувати запропоновані результати неможливо, тому що в даній роботі розглядається процес нагріву великого об'єму, який не може бути описаний циліндричними координатами.

Математична модель нагрівання нафтопродукту в резервуарі від дії мікрохвильового джерела ґрунтується на припущенні, що розповсюдження теплоти здійснюється в необмеженому масиві в процесі теплопровідності в

умовах дії внутрішніх джерел енергії. Приймаючи, що теплофізичні властивості постійні і потужність мікрохвильового поля визначається дією внутрішніх джерел теплоти  $q_v$ , диференціальне рівняння теплопровідності приймає наступний вигляд:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{\rho c_p}, \quad (1)$$

де  $a$  - коефіцієнт температуропровідності,  $\rho$  - густина нафтопродукту,  $c_p$  - його теплоємність.

Умови однозначності прийняті наступні:

- нафтопродукт представляє необмежений масив;
- початковий розподіл температури масиву є однорідним.

Завдання вирішувалася в сферичних координатах, для яких оператор Лапласа  $\nabla^2$  за умови, що температура змінюється тільки по радіусу  $r$ , має такий вигляд:

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r}, \quad (2)$$

Граничною умовою є  $\left(\frac{\partial t}{\partial r}\right)_{r=\infty} = 0$ , де  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  (Початок

координат поміщено в розглянутий об'єм).

При розрахунку температур застосовувався метод кінцевих різниць.

У розрахунках були використані наступні значення фізичних характеристик:  $\rho = 950$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_p = 3$  кДж/(кг·К),  $L = 300$  кДж/кг,  $\lambda = 0.125$  Вт/(м·К) [523]. Відповідно до [524], для мазуту відносна діелектрична проникність  $\epsilon' = 3,5-4,5$  і глибина проникнення  $\text{tg}\delta = 0,013-0,03$ , що характерно для діелектриків, які досить ефективно поглинають мікрохвильову енергію.

При моделюванні мікрохвильового нагріву нафтопродуктів для даної схеми необхідно оцінити відстань від мікрохвильового випромінювача до зливного отвору. Оскільки мікрохвильове випромінювання має бути практично

повністю поглинене, слід було провести оцінку глибини проникнення, яка, в свою чергу, залежить від коефіцієнта поглинання (3):

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left[ \frac{1}{2} \cdot \varepsilon' \left[ \sqrt{1 + tg\delta^2} - 1 \right] \right]^{1/2} = \frac{2\pi}{12,24 \cdot 10^{-2}} \left[ \frac{1}{2} \cdot 4,5 \left[ \sqrt{1 + 0,03^2} - 1 \right] \right]^{1/2} = 2,45 m^{-1}, \quad (3)$$

тоді глибина проникнення (4):

$$\Delta = \frac{1}{2\alpha} = \frac{1}{2 \cdot 2,45} = 0,20 m. \quad (4)$$

На такій відстані потік електромагнітної енергії зменшиться в  $e$  раз. Приймаємо відстань до зливного отвору рівним полуторному значенню  $\Delta$  - 30 см.

При проведенні розрахунків передбачалося, що на початковому етапі злив не проводиться, йде нагрів нерухомого об'єму нафтопродукту (мазут). Після досягнення температури мазуту 60 °С (рекомендована для зливу) близько зливного отвору, починається його відкачування. При цьому до випромінювача починають підходити потоки не розігрітого продукту. Процес нагріву може тривати до тих пір, поки нафта не опуститься до рівня зливного отвору. Існують рекомендації [525], згідно з якими при об'ємах матеріалу, що розігрівається понад 20 м<sup>3</sup> і температурах навколишнього середовища нижче 10 °С, доцільно використання мікрохвильових установок потужністю не менше 50 кВт. На відміну від цих рекомендацій, при установці магнетрона на невеликій висоті щодо зливного отвору потужність магнетрона може бути істотно знижена, оскільки немає необхідності розігріву всього об'єму нафтопродукту.

Розрахунки температур мазуту проведені на відстані від 0 (джерело мікрохвильової енергії) до 30 см (зливний отвір). На рис. 1 представлено температурне поле в нафтопродукті для різних проміжків часу.



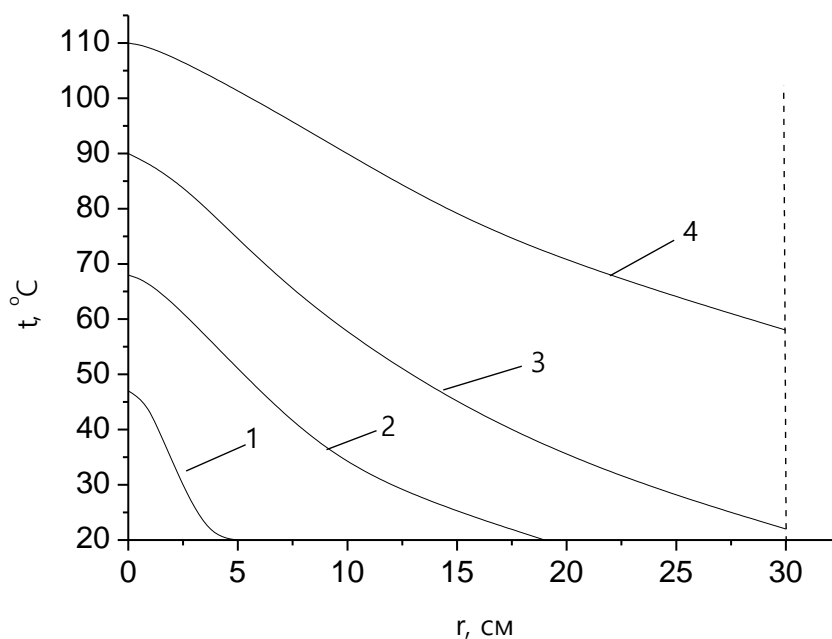


Рисунок 1 - Розрахункова зміна температури мазуту в цистерні при мікрохвильовому нагріванні.

1 -  $\tau = 1$  хв, 2 -  $\tau = 10$  хв, 3 -  $\tau = 65$  хв, 4 -  $\tau = 116$  хв,

Температура мазуту в часі зростає, фронт нагрітої області розширюється. Через 65 хв цей фронт досягає зливного отвору, однак температура нафти недостатня для запуску процесу відкачування. З рис. 1 видно, що температура мазуту 60 °C у зливного отвору буде досягнута через 116 хв. Витрата мазуту при його відкачуванні з урахуванням того, що довколишні шари є більш нагрітими, складе 0,17 кг/с. Щоб збільшити витрату, забезпечивши досягнення необхідної температури у зливного отвору 60 °C, можна встановити магнетрон більшої потужності, наприклад, 15 кВт. Тоді витрата збільшиться до 0,93 кг/с.

При розробці пристрою для мікрохвильового нагріву має враховуватися наступне [525]: об'єм продукту в цистернах може змінюватися в широких межах, і, відповідно, змінюється опір навантаження (об'єму, що нагрівається), тому виникає необхідність узгодження останнього з мікрохвильовим генератором щоб уникнути пошкоджень магнетрона, який повинен бути надійно захищений від неузгодження навантаження.

## **Аналіз застосовності мікрохвильового нагріву до інтенсифікації зливу високов'язких нафтопродуктів**

Існуючі патенти і технічні рішення, запропоновані до застосування мікрохвильового нагріву для розігріву нафтопродуктів, припускають, що мікрохвильова енергія падає на вільну поверхню рідини. Приклад такого схемного рішення представлений на рис. 2. В даному патенті предмет винаходу є випромінювач у вигляді спрямованої антени, встановленої похило до поверхні загустілого або застиглого нафтопродукту, при цьому передаюча лінія забезпечена додатковим прямим хвилеводом, встановленим між хвилеводним зломом і кришкою-екраном. У конструкції передбачається нагрів продукту в цистерні потоком мікрохвильового випромінювання, сформованим під гострим кутом до продукту в протилежному від внутрішніх сходів напрямку, що підвищує ефективність нагріву продукту, надійність роботи магнетрона і в цілому мікрохвильового генератора.

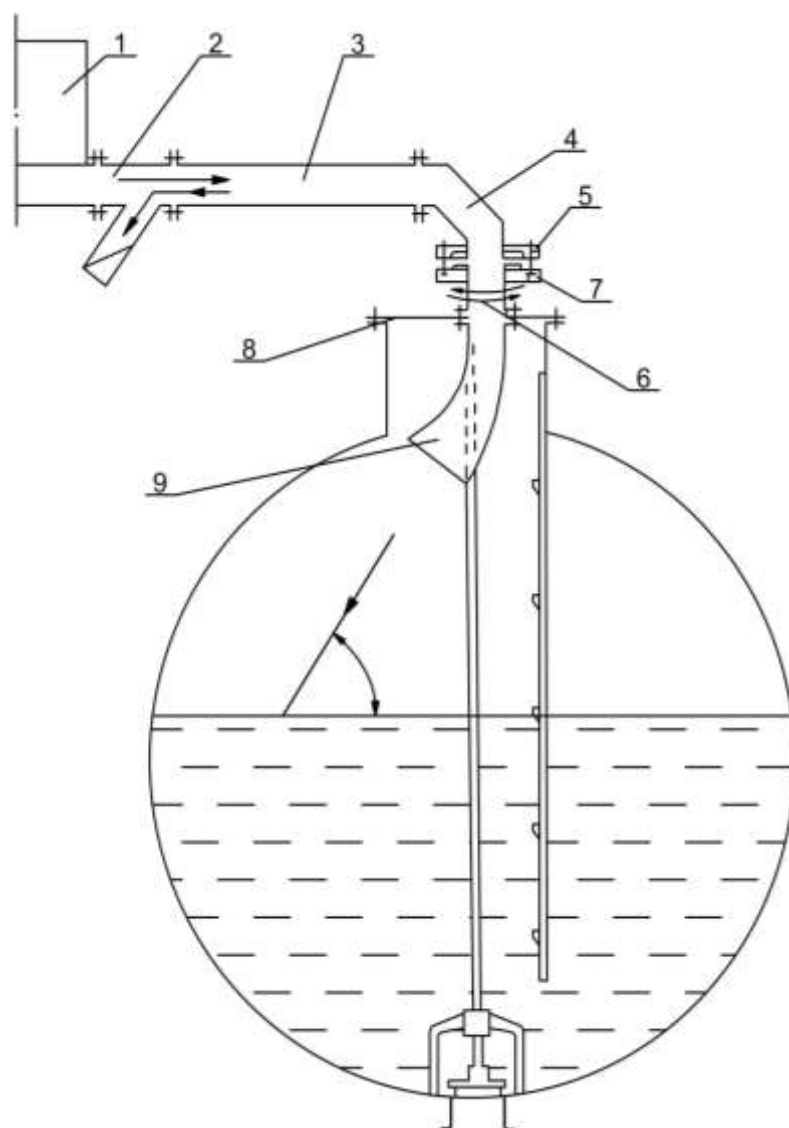


Рисунок 2 - Схема розташування мікрохвильового пристрою в цистерні з нафтопродуктами [525]

1 - мікрохвильовий модуль, 2 - циркулятор, 3 - прямий хвилевід, 4 - хвилеводний злам, 5 - фланець, 6 - додатковий прямий хвилевід, 7 - фланець, 8 - кришка-екран, 9 - випромінювач

Недоліком подібних схем є те, що мікрохвильова енергія, падаюча на поверхню нафтопродукту, швидко згасає внаслідок перетворення її в теплову при просуванні вглиб цистерни. Як було показано вище, глибина проникнення для мазуту становить 20 см, і це значення можна порівняти з глибиною проникнення інших високов'язких нафтопродуктів. Оскільки діаметр залізничної цистерни становить 3 м., ясно, що на відносно невеликій відстані від поверхні

нафтопродукт не буде нагрітий. Ця проблема частково вирішена в [526]. Для забезпечення більш рівномірного нагріву передбачений відбір холодного нафтопродукту з донної частини ємності, розігрів його в зовнішньому теплообміннику і подачу розігрітого нафтопродукту за допомогою насоса в донну частину ємності з використанням сопел, використання попередньо підігрітого нафтопродукту на початковому циклі відбору холодного нафтопродукту, і безперервну циркуляцію нафтопродукту. Мікрохвильовий нагрів [527] важкої нафти показує, що в'язкість значно знижується, завдяки чому забезпечується істотна інтенсифікація її притоку. Специфіка об'ємного поглинання мікрохвильової енергії виражаються також в тому, що складно забезпечити рівномірність нагріву, особливо великих об'ємів. Пропонується використання магнетронів великої потужності, щоб забезпечити рухливість шарів, віддалених від джерела. Однак відстань від джерела до зливного отвору досить велике, що не дозволяє ефективно використовувати особливості перетворення мікрохвильової енергії діелектричними матеріалами. Тому одним із завдань даної роботи було знайти можливість розташувати джерело випромінювання в безпосередній близькості до зливного отвору. Рішення завдання полегшувалося тим, що люк для заправки цистерни розташований безпосередньо над зливним отвором. Тому є можливість через люк опустити випромінювач до зливного отвору. Для цього можна виготовити порожню трубу, яка може бути приєднана до верхнього люка, і в якій буде розташовуватися мікрохвильовий пристрій. Як показали розрахунки, вихідна потужність магнетрона повинна бути не менше 3 кВт. Тоді для охолодження анодного блоку магнетрона повинна бути передбачена система водяного охолодження. У порожню трубу поміщається магнетрон, випромінювач якої виходить з основи труби і розташовується безпосередньо над зливним отвором. У повітряному каналі також розташовуються основні компоненти мікрохвильового пристрою: високовольтні конденсатор і трансформатор, елементи системи управління. Схематично розташування знімної повітряної труби для мікрохвильового пристрою в залізничній цистерні представлено на рис. 3.

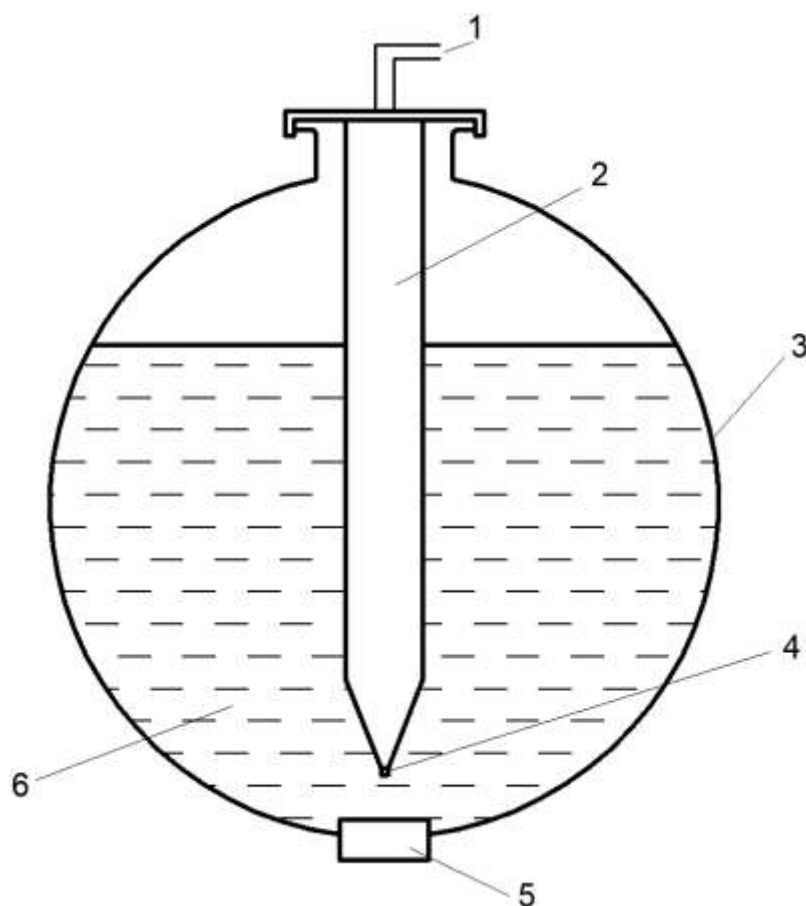


Рисунок 3 - Схема поздовжнього перерізу цистерни з мікрохвильовим пристроєм

1 - канал для пристрою системи управління магнетроном і системи охолодження магнетрона, 2 - повітряний канал, 3 - цистерна з нафтопродуктом, 4 - випромінювач мікрохвильової енергії, 5 - вихідний отвір, 6 - нафтопродукт

Випромінювач електромагнітної енергії для виключення контакту його з нафтопродуктом пропонується покривати радіопрозорим ковпачком. Таким чином, метод мікрохвильового нагріву нафти в безпосередній близькості від зливного отвору може бути практично реалізований при використанні пропонованої схеми. При такому розташуванні джерела (рис. 3) щодо зливного отвору нагрів, і, відповідно, зниження в'язкості нафтопродукту, буде спостерігатися в зоні зливу, що здатне істотно інтенсифікувати процес і знизити витрати енергії на нагрів.

## Висновки

Проведено аналітичне дослідження процесу мікрохвильового нагріву нафтопродукту на прикладі мазуту. Отримано, що температура мазуту в часі зростає, фронт нагрітої області розширюються. Для початкової температури 20 °С через 65 хв. гарячий фронт досягає зливного отвору, однак температура нафти недостатня для запуску процесу відкачування. При заданих умовах (початкова температура 20 °С, вихідна потужність магнетрона 3 кВт, відносна діелектрична проникність  $\epsilon' = 4,5$  і тангенс кута втрат  $\text{tg}\delta = 0,03$ ) температура мазуту 60 °С у зливного отвору буде досягнута через 116 хв. Витрата мазуту при його відкачуванні з урахуванням того, що довколишні шари є більш нагрітими, складе 0,17 кг/с. Щоб збільшити витрату, забезпечивши досягнення необхідної температури у зливного отвору 60 °С, можна встановити магнетрон більшої потужності, наприклад, 15 кВт. В цьому випадку витрата збільшиться до 0,93 кг/с.

Схемне рішення для мікрохвильового пристрою дозволяє розташувати джерело випромінювання в безпосередній близькості до зливного отвору. Пропонується помістити мікрохвильове пристрій в порожню трубу, яка може бути приєднана до верхнього люка. Випромінювач мікрохвильової енергії при цьому виходить з нижньої основи труби і розташовується безпосередньо над зливом на відстані 1,5 глибини проникнення. При такому розташуванні джерела щодо зливного отвору нагрів, і, відповідно, зниження в'язкості нафтопродукту, буде спостерігатися в зоні зливу, що здатне істотно інтенсифікувати процес і знизити витрати енергії на нагрів.

## 10.8 Мульчування техногенних поверхонь для зменшення пилотворення

На гірничо-видобувних комбінатах нашого регіону, видобування бідних руд проводиться з їх подальшим збагаченням. У процесі збагачення рудної сировини, значна частина матеріалу, йде до хвостосховищ (так звані «відходи збагачення»). Як інженерна споруда хвостосховище являє собою місткість, природного чи штучного походження, обгороджену греблею чи дамбою, що будується зі скельних і глинистих порід та хвостів. Воно призначене для організованого складування хвостів і відведення води [528].

Хвостосховище є техногенним джерелом корисних копалин, що буде піддаватися розробці при вичерпанні природних покладів залізної руди. Хімічний склад, за складованого в хвостосховищі матеріалу, дещо відрізняється в залежності від комбінатів [529], але має спільну рису – високий вміст мінерального пилу ( $\text{SiO}_2$ ), який є ерозійно небезпечним і тривале вдихання якого може призвести до виникнення у людини різних видів захворювань, включно з професійними захворюваннями (силікоз, пилові бронхіти) (табл.1).

Після намиву карти у зонах випуску пульпи утворюються сухі ділянки, котрі виступають над водною поверхнею. Хвости на ділянках укосів швидко висихають і при сильних поривах вітру стають джерелами виділення пилу[528-530].

Таблиця 1

**Хімічний склад хвостів Криворізьких ГЗКів, %**

Підприємство	Хімічні сполуки										
	$\Sigma\text{Fe}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MnO}$	$\text{CO}_2$	П.і.
ГЗК ПАТ «АМКР»	14,5	3,71	13,8	60,85	1,46	1,34	4,16	0,016	0,17	-	13,07
АТ «Під.ГЗК»	14,52	1,07	4,6	61,64	0,66	2,79	4,72	-	-	-	10,54
ПАТ «ЦГЗК»	16,9	-	9,9	63,02	2,1	1,24	2,78	-	0,16	4,5	4,86
ПАТ «Півн.ГЗК»	12,59	3,76	5,09	65,79	1,1	3,17	5	0,14	0,12	3,2	4,34
ПАТ «ІГЗК»	12,88	4,05	6,8	64,04	2,57	1,83	2,84	0,19	0,16	3,6	5,557

Розуміючи це, можна вважати, що питання боротьби з проблемою виносу пилу з ділянок хвостосховищ є надзвичайно актуальним на сьогодні.

Нашими колегами, це питання розглядалося починаючи ще з 60-х років минулого століття [529-533], було розглянуто та запропоновано велике різноманіття засобів і заходів, спрямованих на вирішення даної проблеми.

Як відомо [534], методи біологічної рекультивації раніше досить обмежено використовувалися для вирішення проблеми виносу пилу з сухих поверхонь діючих хвостосховищ. Перешкода цьому – особливості роботи хвостосховища, а саме постійне нарощування його у висоту, формування нових карт, під'їзних шляхів, ділянок трубопроводів тощо [535-536].

Оскільки, «...одним з основних факторів, що впливає на процес здимання пилу хвостів, є вологість повітря та матеріалу хвостів...» [528]. Так, влітку при високих температурах повітря та низькій вологості повітря і матеріалу, сухі поверхні хвостосховищ стають джерелами виносу пилу в повітря.

Як показали дослідження, в особливо сухі і вітряні дні, кількість пилу в повітрі може перевищувати сотню мг/м<sup>3</sup> [528]. В свою чергу, це стає причиною утворення пилових хмар (рис.1.), що можуть поширюватись за межі хвостосховища.

Як відомо [528,530], використання спеціальних хімічних та біологічних засобів, що здатні сформувати на сухих поверхнях хвостосховища тверді плівки, не вирішує питання занесення такого покриття пилом з інших незакріплених ділянок і утворення на її поверхні нових джерел виносу пилу.



**Рисунок 1. Пилова хмара на поверхні хвостосховища.**



В даній роботі, ми розглядаємо окремі питання використання елементів біологічної рекультивації хвостосховища. Так, ми вважаємо доцільним, для вирішення проблеми винесення пилу, використати досвід вітрозахисних посадок, аналогічних посадкам між полями. За рахунок формування на зовнішній поверхні ярусів хвостосховища масиву рослинності, ми зможемо досягнути цього завдяки тому, що цей масив буде зменшувати швидкість вітру та осаджувати на себе пилові частинки, не дозволяючи їм розноситись на порівняно великі відстані від хвостосховища. В свою чергу, це дозволить зменшити негативний вплив пилу не лише на здоров'я працівників ГЗК а також на стан навколишнього природного середовища.

На нашу думку, доцільно буде використовувати мулові відкладення очищення стічних вод витримані на спеціальних майданчиках[534].

Враховуючи те, що зазвичай зовнішні поверхні ярусів хвостосховища сформовано зі скельних порід та хвостів збагачення корисних копалин, вони практично не містять ґрунтового субстрату та органічних речовин, необхідних для нормального розвитку рослинного покриву. На відміну від них, мулові відкладення є надзвичайно поживним субстратом, на якому легко буде сформуватися середовищу придатному для рослинності. Але у нас існує ще проблема високих втрат вологи в наслідок вивітрювання та випаровування. Як відомо, при достатньому зволоженні [535], навіть на обділених органікою ділянках може рости той же самий очерет. І навпаки, при недостатньому зволоженні, навіть на поживних ґрунтах визрівання рослин є негарантованим.

Для збереження вологи верхнього шару мулових відкладень, пропонується розглянути питання «мульчування» цієї поверхні [537], як варіант матеріалу для створення «мульчі», пропонуємо використовувати подрібнені гілки дерев і опале листя, які все одно прибираються і утилізують ся на кожному підприємстві.

Питання вибору режимів зволоження, підбору матеріалів для «мульчі» та рослин для висадки, буде розглянуто нами у наступних роботах

#### **Висновки :**

1. Окреслено проблеми експлуатації діючих хвостосховищ.

2. Визначено оптимальний варіант використання технології біологічної рекультивації поверхонь діючих хвостосховищ.
3. Окреслено напрямок подальших досліджень біологічних інструментів зменшення кількості пилу в повітрі хвостосховищ.

## 10.9 Проблематика використання водню в якості палива на підприємствах комунальної теплоенергетики України

В останній час обговорюється можливість спалювання в котлах газу змінного складу, як з підвищеною, так і зі значно зниженою теплотворною здатністю. Зниження теплотворної здатності шляхом баластування природного газу інертом, наприклад, газами рециркуляції (що містять  $\text{CO}_2$ ), використовують для зниження утворення оксидів азоту. Актуальними є питання спалювання синтез-газу, «полігонного» газу, біогазу різного походження. Використання цих газів потребує розробки і впровадження нової котельної техніки або адаптації вже наявного котельного парку під нові режими роботи. В таких умовах необхідно передбачити роботу котельної техніки на один спеціальний газ (з пониженою або підвищеною теплотворною здатністю) або її можливість пристосування на змінну теплотворну здатність газу у конкретно заданому діапазоні.

Постійне зниження вартості відновлювальних джерел енергії, розвиток технологій і гостра необхідність в зниженні викидів парникових газів, сформували високу зацікавленість і передбачають широкі можливості перед застосуванням водню. Водень прийнято вважати  $\text{CO}_2$  - нейтральним енергоресурсом, що зумовлює зростаючу увагу в ЄС і в світі в цілому.  $\text{H}_2$  може використовуватися як сировина, паливо, або як енергоносіє і акумулятор енергії. При використанні водню саме як автономного енергоресурсу в спалювальних установках, викиди  $\text{CO}_2$  відсутні, що є ефективним рішенням для декарбонізації промислових процесів і секторів економіки, де зниження викидів парникового газу  $\text{CO}_2$  є необхідним і важко досяжним. Питання доцільності впровадження водневих технологій на об'єктах комунальної теплоенергетики слід розглядати також, з точки зору економічної доцільності. Так, в Україні при сьогоднішніх енергетичних втратах (9-10 %) на виробництво т.з. «зеленого водню» і вартості викидів  $\text{CO}_{2\text{екв}}$  (10 грн за 1 т  $\text{CO}_{2\text{екв}}$ ), точка «беззбитковості» використання водню буде при ціні в 500 грн за 1 т  $\text{CO}_{2\text{екв}}$ . Тобто, при закладенні економічно доцільної

європейської вартості викидів 1т CO<sub>2</sub><sub>екв</sub>, в 20 євро, вартість природного газу за 1000 м<sup>3</sup> треба буде підняти всього на 15%. Зважаючи, що темпи зростання вартості палива за останні десятиліття збільшилися на порядок цей крок може бути цілком виправданий.

В ЄС використання водню визначено одним з ключових пріоритетів по переходу енергетичного сектора ЄС до екологічно чистого, сталого розвитку. Так, 8 липня 2020 р. Єврокомісією прийнята програма «A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe» [538], завданням якої є сприяння реалізації європейського «зеленого курсу» (European Green Deal) по прагненню ЄС до кліматично нейтральної економіки до 2050 р. і глобальним цілям по реалізації завдань Паризької Угоди щодо зниження викидів парникових газів. В останні роки все частіше постає питання про збільшення частки використання водню ПЕК нашої Держави. Перспективами використання цього цінного енергетичного компоненту не можна нехтувати, особливо зважаючи на амбітні цілі України на шляху до Євроінтеграції. Одним з перспективних напрямків з промислового використання водню є використання його, в якості самостійного палива або добавок вже до традиційного природного газу на теплогерелах промислових підприємств і міських опалювальних котельнях.

Одна з рекомендацій це використання системами централізованого теплопостачання міст України паливної суміші, що містить чітко визначену оптимальну частку водню (на сьогодні йде мова про вміст водню на рівні 25%) [539]. Планується робота вже наявного котельного обладнання на новій паливній суміші. При цьому виникають наступні проблеми, що безпосередньо пов'язані з особливостями застосування цього енергоресурсу на переважно застарілих котлах, які були спроектовані під використання лише традиційного викопного палива, такого як, наприклад природний газ.

### **1. Зміна теплотворної здатності паливної суміші**

Усереднене значення теплотворної здатності для водню на одиницю об'єму приблизно втричі менше, аніж для природного газу. Тобто, при використанні

суміші, яка містить прогнозовані 25 % водню теплотворна здатність становитиме вже не 8250 Гкал/м<sup>3</sup> як це могло бути для чистого метану, а відповідно 6875 Гкал/м<sup>3</sup>. На рисунку 1 зображено залежність теплотворної здатності паливної суміші, що містить водень від його вмісту в одиниці об'єму палива.

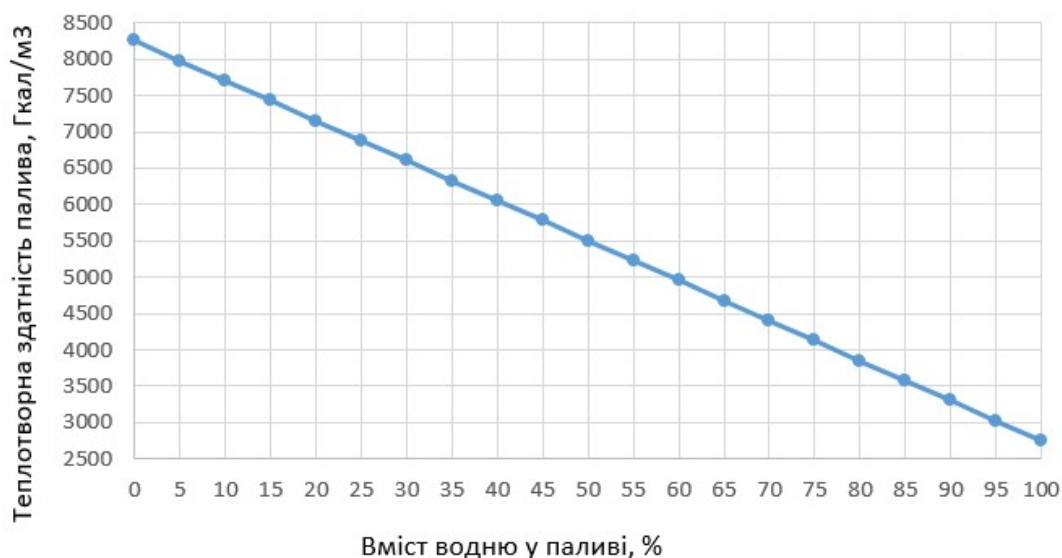


Рисунок 1 – Залежність теплотворної здатності паливної суміші від вмісту у ній водню

Авторами запропоновано введення т.з. Критерія  $K_{r_{гп}}$ , який характеризує зміну теплотворної здатності одиниці об'єму палива в порівнянні з чистим метаном. У таблиці 1 приведені значення  $K_{r_{гп}}$ , теплотворна здатність палива залежно від частки водню у паливній суміші. Представлені співвідношення паливних складових «водень-природний газ», які найбільш часто обговорюються в сучасній літературі.

Таблиця 1. Залежність теплотворної здатності палива від вмісту у ньому водню

Складові палива:	Вміст відповідних компонентів паливної суміші, %						
-метан	100	90	80	75	70	50	0
-водень	0	10	20	25	30	50	100
Теплотворна здатність паливної суміші, Гкал/м <sup>3</sup>	8250	7700	7150	6875	6600	5500	2750
Значення $K_{r_{гп}}$	1,00	0,93	0,87	0,83	0,80	0,67	0,33

Так, знижена теплотворна здатність паливної суміші не дає можливості роботи котельного агрегату відповідно до його режимної карти, що неминуче призводить до зниження навантаження котлоагрегату і відповідно для відпуску тієї ж кількості теплової енергії треба більша потужність котла або введення в експлуатацію додаткового котлоагрегату.

Пропускна здатність котла по об'єму газу є величина постійна, що обумовлена розмірами газоходів котла, швидкістю руху суміші, тягодуттєвих пристроїв. У випадку зміни теплотворної здатності, необхідно забезпечити відповідну зміну швидкості подачі палива і окисника, адже в протилежному випадку горіння перейде в конвективну частину. Визначено, що для спалювання  $1\text{ м}^3 \text{ Н}_2$  необхідно подати вже інший об'єм повітряної повітряної суміші. Також слід брати до уваги, що необхідна нова конструкція пальникового пристрою.

## **2. Відрив полум'я газо-водневої суміші від форсунки**

Врахування можливості відриву факелу при спалюванні водню важливе, в першу чергу для водотрубних котлів, адже його профіль може досягати протилежних стінок камери [540], створюючи перепал топкових екранів, або як мінімум, локальне закипання води в екранних трубах у випадку прямого попадання на них факела. В цьому випадку проблема підсилюється саме для водогрійних котлів, тому що в парових котлах використовується хімічно обезсолена вода з високим ступенем очистки. Ступінь очистки води для водогрійних котлів значно нижча і при її закипанні у трубах ми матимемо відкладення солей на внутрішній поверхні труб з їх наступним заростанням.

Ще однією проблемою є дотримання температурного графіку роботи теплоджерела для забезпечень тих же значень теплозабору, необхідне зниження потоку води (по причині описаній вище) При врахуванні, що адіабатна температура горіння водню на  $50\text{ }^\circ\text{C}$  вища, ніж температура горіння природного газу, то при зниженні потоку ймовірно швидке прогорання металу трубок, що пришвидшує терміни капітального ремонту. Одним з конструктивних рішень може бути встановлення шахматної стінки, на яку рівномірно розподілятиметься полум'я.

### 3. Складові теплового потоку в топці котла

З метою виявлення впливу домішок водню, який подавався у вигляді водно-паливної емульсії на процес розподілення потужності випромінювання полум'я по довжині камери згорання (КЗ) авторами у Інституті технічної теплофізики НАН України було проведено серію експериментів, результати яких представлені на рисунку 2.

Проведені дослідження дають оцінку домінуючої складової теплового потоку в одиниці об'єму КЗ.

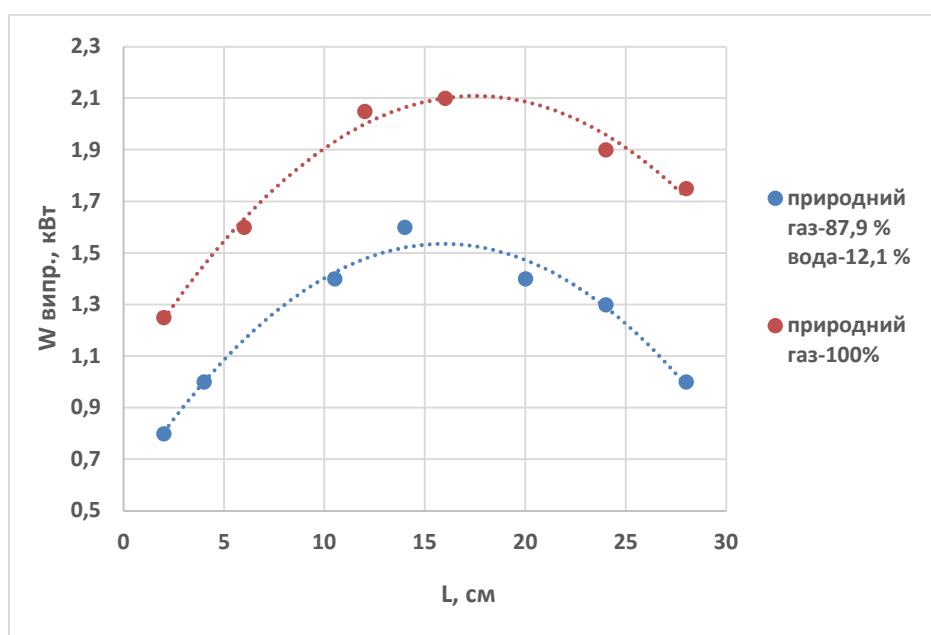


Рисунок 2 – Розподілення потужності випромінювання по довжині камери згорання при спалюванні вуглецевого палива і воднево-паливної емульсії на його основі

Отримані результати можна пояснити тим, що  $H_2$  - двох-атомний газ, освітлюваність якого нижча на відміну від трьох-атомного метану. При спаленні водню утворюється водяна пара, яка є трьох атомним газом. На практиці ми повинні враховувати 2 фактори: втрату радіаційної складової в топці котлоагрегату та збільшення теплопровідності за рахунок наявності водню.

Межа займання ширша у водню, аніж у відрізняється у 6-7 раз. Збільшується небезпека нерегульованого спалахування. Швидкість розповсюдження полум'я майже у вісім разів вище у водню в порівнянні з метаном (таблиця 2).

Таблиця 2. Порівняльні властивості метану і водню

	Метан	Водень
Межа спалахування, %:		
- нижня	4,9 – 6,3	4,09 - 9,5
- верхня	11,9 – 15,4	65,0 - 75,0
Швидкість розповсюдження полум'я, м/с	2,6	0,38
Густина паливної суміші, кг/м <sup>3</sup> ( за н. у)	0,8	0,09

Якість газу обмежує область застосування пального пристрою: пропускна здатність паливної суміші має бути вища (зміна перерізу завихрювача), оскільки змінюється густина самого газу.

#### 4. Підвищення утворень оксидів азоту при спалюванні водневих сумішей в атмосферному повітрі

Проведені дослідження в ІТТФ дають змогу кількісно оцінити обсяг утворення саме термічних оксидів азоту [541]. Дослідження показали, що їх значення рівне 16-18 мг/м<sup>3</sup>, тоді як при спаленні такого ж об'єму палива сумарні оксиди були в 5 раз вищі. Це можна пояснити тим, що при спаленні чистого водню відсутні швидкі (кінетичні) оксиди азоту, оскільки відсутні уривки молекул «СН-», які запускають механізм утворення цього виду оксидів азоту.

Тобто, що використання водневого палива може бути ефективним рішенням для виконання 75 Директиви ЄС для потужних котельних агрегатів, для зниження викидів оксидів азоту у 3-4 рази.

Зворотна ситуація виникає при спаленні паливної суміші, що містить добавки водню до метану - збільшення сумарних обсягів оксидів азоту за рахунок вже утворення і кінетичних оксидів азоту і температурних.

Існує ще ряд задач, які необхідно вирішити перед тим, як водень, як енергоресурс знайде широке застосування у процесах спалювання, а саме:

- Швидке зношення матеріалу пальника, а саме завихрювача, через природну властивість водню підвищувати крихкість металу;
- Організація відводу води з димової труби (захист від корозії).



- Внесення доповнень до нормативного методу розрахунку котлів в частині використання водню і його сумішей в якості палива (в чинній редакції Нормативного методу довідкові дані і вказівки до розрахунку і проектування котлів, які використовують водень і його суміші з природним газом відсутні) [542].

Разом з цим існує ряд невирішених задач пов'язаних із особливостями процесу горіння водню, або воднево-метанових сумішей (перерозподіл теплових потоків, стабілізація факелу, швидке зношення конструктивних елементів котельного обладнання тощо). Проблематика використання водню на наявних котельних агрегатах і наслідки цього впровадження для ПЕК Держави авторами описано в [541].

### **Висновки**

1. Реакція європейського енергетичного ринку свідчить про високу перспективність водневих технологій і про готовність до розробки і впровадження водневих проектів.

2. Маючи розвинену інфраструктуру газотранспортної системи, надлишкові встановлені потужності АЕС, ВЕС і СЕС, дефіцит маневрених потужностей, Україну розглядають як перспективного ринкового гравця по виробництві, транспортуванні, використанні водню.

3. Необхідність впровадження водневих технологій актуальне для нашої Держави, тому що Україна, як член Енергетичного співтовариства, взяла зобов'язання щодо імплементації європейського законодавства (в т.ч. екологічного).

4. Українська воднева енергетика має ряд невирішених задач, які потребують першочергового розгляду, а саме: адаптація роботи котельного обладнання на новій паливній суміші, внесення доповнень до Нормативного методу розрахунку котельного обладнання, впровадження механізмів державного управління і регулювання у сфері водневої енергетики тощо.

**SECTION 11. TELECOMMUNICATIONS**

**11.1 Метод снижения времени поиска маловысотных воздушных объектов в условиях радиоэлектронного подавления при использовании пассивной радиотехнической системы**

1. Расчет ошибок измерения координат воздушных объектов целей при использовании пассивной радиотехнической системы

Для определения декартовых координат воздушных объектов (ВО) в пассивной радиотехнической системы (ПРТС) целесообразно использование разностно-дальномерного метода пассивной радиолокации как обладающего наименьшими ошибками. Для определения ошибок указанного метода пассивной локации, сравнения их с ошибками определения координат, получаемых при активной локации, рассмотрим метод, позволяющий определить искомые декартовы координаты  $x_u, y_u, z_u$ , т.е. измеряя разность расстояний до ВО от датчиков ПРТС:

$$R_i = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2} - \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}, \quad (1)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты точек стояния датчиков;

$i = 1 - 6$  номера приемных позиций.

Для определения координат ВО необходимо знать три независимо измеренных разности расстояний до ВО, то есть использовать четыре приемных позиции [543]. На основании (1) можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2} - \sqrt{(x_u - x_1)^2 + (y_u - y_1)^2 + (z_u - z_1)^2} \\ R_2 = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2} - \sqrt{(x_u - x_2)^2 + (y_u - y_2)^2 + (z_u - z_2)^2} \\ R_3 = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2} - \sqrt{(x_u - x_3)^2 + (y_u - y_3)^2 + (z_u - z_3)^2} \end{cases} \quad (2)$$

Ошибки измерения разности расстояний могут быть найдены, если известны ошибки измерения координат ВО  $\sigma_{x_u}, \sigma_{y_u}, \sigma_{z_u}$  и ошибки измерения

координат датчиков  $\sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}, \sigma_{z_i}$ . Для любой ошибки измерения разности расстояний  $R_i$  имеем:

$$R_i = \sqrt{(x_u - x_0)^2 + (y_u - y_0)^2 + (z_u - z_0)^2} - \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}, \quad (3)$$

где  $x_0, y_0, z_0$  – декартовы координаты центрального датчика.

Учитывая, что ошибки измерения координат некоррелированные между собой, среднее квадратическое отклонение (СКО) измерения разности расстояний будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{R_i}^2 = & \left( \frac{\partial R_i}{\partial x_u} \right)^2 \sigma_{x_u}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial y_u} \right)^2 \sigma_{y_u}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial z_u} \right)^2 \sigma_{z_u}^2 + \\ & + \left( \frac{\partial R_i}{\partial x_0} \right)^2 \sigma_{x_0}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial y_0} \right)^2 \sigma_{y_0}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial z_0} \right)^2 \sigma_{z_0}^2 + \\ & + \left( \frac{\partial R_i}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_{y_i}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial z_i} \right)^2 \sigma_{z_i}^2, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\sigma_{x_u}, \sigma_{y_u}, \sigma_{z_u}$  – СКО измерения координат цели с центрального датчика;

$\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0}, \sigma_{z_0}, \sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}, \sigma_{z_i}$  – ошибки координат точек стояния датчиков (для автономного режима измерения координат с помощью GPS эти ошибки известны и составляют величину порядка 15 м);

$$\frac{\partial R_i}{\partial x_u} = \frac{x_u}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2}} - \frac{(x_u - x_i)^2}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial y_u} = \frac{y_u}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2}} - \frac{(y_u - y_i)^2}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial z_u} = \frac{z_u}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2}} - \frac{(z_u - z_i)^2}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial x_i} = \frac{(x_u - x_i)^2}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial y_i} = \frac{(y_u - y_i)^2}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial z_i} = \frac{(z_u - z_i)^2}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$i=0, 1, 2, 3$ .

Из анализа выражения (4) следует, что для определения СКО измерения разности расстояний необходимо определить СКО измерения координат ВО с центрального датчика  $\sigma_{x_u}, \sigma_{y_u}, \sigma_{z_u}$ .

Для этого составим 3 уравнения для трех разностей расстояний между центральным и 1, 2, 3 датчиками.

$$\begin{cases} \sigma_{R_1}^2 = \left(\frac{\partial R_1}{\partial x_u}\right)^2 \sigma_{x_u}^2 + \left(\frac{\partial R_1}{\partial y_u}\right)^2 \sigma_{y_u}^2 + \left(\frac{\partial R_1}{\partial z_u}\right)^2 \sigma_{z_u}^2 + D_1; \\ \sigma_{R_2}^2 = \left(\frac{\partial R_2}{\partial x_u}\right)^2 \sigma_{x_u}^2 + \left(\frac{\partial R_2}{\partial y_u}\right)^2 \sigma_{y_u}^2 + \left(\frac{\partial R_2}{\partial z_u}\right)^2 \sigma_{z_u}^2 + D_2; \\ \sigma_{R_3}^2 = \left(\frac{\partial R_3}{\partial x_u}\right)^2 \sigma_{x_u}^2 + \left(\frac{\partial R_3}{\partial y_u}\right)^2 \sigma_{y_u}^2 + \left(\frac{\partial R_3}{\partial z_u}\right)^2 \sigma_{z_u}^2 + D_3. \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{где } D_i = \left[ \left(\frac{\partial R_i}{\partial x_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial y_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial z_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial x_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial y_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial z_i}\right)^2 \right] \sigma_0^2;$$

$i=1, 2, 3$ ;

$$\sigma_0 = \sigma_{x_0} = \sigma_{y_0} = \sigma_{z_0} = \sigma_{x_i} = \sigma_{y_i} = \sigma_{z_i} = 15 \text{ м}.$$

Разность расстояний определяется разностью времен прихода сигналов на две приемных позиции:

$$R = c(t_2 - t_1).$$

СКО разности расстояний определяется как:

$$\sigma_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial t_2}\right)^2 \sigma_t^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial t_1}\right)^2 \sigma_t^2}, \quad (6)$$

где  $\frac{\partial R}{\partial t_2} = \frac{\partial R}{\partial t_1} = c$ ;

$\sigma_t = 0,1 \dots 0,01$  мкс – ошибка синхронизации [544];

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света.

Тогда СКО разности расстояний будет:  $\sigma_R = \sqrt{2}c\sigma_t = 42 \dots 4,2$  м.

Итоговые результаты расчетов СКО измерений разности расстояний для трех датчиков с координатами: а)  $x = -3000$  м,  $y = 2000$  м; б)  $x = 3000$  м,  $y = 2000$  м; в)  $x = -2000$  м,  $y = 0$  м, при высоте подъема антенн датчиков 3 м и соответствующих координат ВО для  $\sigma_R = 42$  м сведены в таблицы 1, 2.

Таблица 1.

Значения ошибок измерений декартовых координат ВО в точке стояния датчика с координатами  $x = -2000$  м,  $y = 3000$  м (высота ВО 3000 м)

Дальность до ВО, м.	Координаты ВО в прямоугольной системе координат, м	σ, м		
		x	y	z
1	2	3	4	5
18000	$x = 20000, y = 0, z = 3000$	541	1048	1007
	$x = 18000, y = 9000, z = 3000$	1525	921	2934
	$x = 11000, y = 17000, z = 3000$	899	105	2344
13000	$x = 15000, y = 0, z = 3000$	286	738	540
	$x = 13000, y = 7000, z = 3000$	981	675	1690
	$x = 7000, y = 13000, z = 3000$	603	91	1386
8000	$x = 10000, y = 0, z = 3000$	180	475	170
	$x = 8500, y = 4500, z = 3000$	426	337	693
	$x = 4500, y = 8500, z = 3000$	331	71	687
4000	$x = 6000, y = 0, z = 3000$	148	410	183
	$x = 5500, y = 3000, z = 3000$	204	168	360
	$x = 3000, y = 5500, z = 3000$	150	42	316

Таблица 2.

Значения ошибок измерений декартовых координат ВО в точке стояния датчика с координатами  $x = -2000$  м,  $y = 3000$  м (высота ВО 100 м)

Дальность до ВО, м.	Координаты ВО в прямоугольной системе координат, м	$\sigma$		
		x	y	Z
1	2	3	4	5
18000	$x = 20000, y = 0, z = 100$	455	928	2901
	$x = 18000, y = 9000, z = 100$	2156	1317	7064
	$x = 11000, y = 17000, z = 100$	964	102	6831
13000	$x = 15000, y = 0, z = 100$	200	615	1396
	$x = 13000, y = 7000, z = 100$	1815	1275	5490
	$x = 7000, y = 13000, z = 100$	634	86	3959
8000	$x = 10000, y = 0, z = 100$	67	335	4324
	$x = 8500, y = 4500, z = 100$	752	589	2824
	$x = 4500, y = 8500, z = 100$	345	65	1863
4000	$x = 6000, y = 0, z = 100$	50	212	1355
	$x = 5500, y = 3000, z = 100$	339	323	1209
	$x = 3000, y = 5500, z = 100$	147	38	2454

2. Точность определения сферических координат воздушных целей при использовании пассивной радиотехнической системы

Полученные в предыдущем подразделе значения СКО  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  декартовых координат ВО  $x_u, y_u, z_u$  дают возможность исследовать точность определения сферических координат ВО, сравнить полученные данные с техническими возможностями радиолокационной станции сопровождения (РЛСС). Для этого необходимо декартовы координаты ВО, рассчитанные с центрального датчика, пересчитать в сферические координаты для РЛСС [545].

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}; \\ \varepsilon = \arccos \left( \frac{(z_u - z_i)}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}} \right); \\ \beta = \arctg \left( \frac{y_u - y_i}{x_u - x_i} \right). \end{array} \right. \quad (7)$$

Ошибки определения сферических координат в точках стояния датчиков будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_R^2 = \left( \frac{\partial R}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_x^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_y^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial z_i} \right)^2 \sigma_z^2; \\ \sigma_\varepsilon^2 = \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_x^2 + \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_y^2 + \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial z_i} \right)^2 \sigma_z^2; \\ \sigma_\beta^2 = \left( \frac{\partial \beta}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_x^2 + \left( \frac{\partial \beta}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_y^2 + \left( \frac{\partial \beta}{\partial z_i} \right)^2 \sigma_z^2. \end{array} \right. \quad (8)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – значения СКО измерения координат ВО с центрального датчика, представленные в табл. 1, 2 для различных высот цели;

$$\frac{\partial R}{\partial x_i} = - \frac{x_u - x_i}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial R}{\partial y_i} = - \frac{y_u - y_i}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial R}{\partial z_i} = - \frac{z_u - z_i}{\sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}};$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = -\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(z_u - z_i)^2}{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}}} \times$$

$$\times \frac{(z_u - z_i)(x_u - x_i)}{\sqrt{\left[ (x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2 \right]^3}};$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial y_i} = -\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(z_u - z_i)^2}{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}}} \times$$

$$\times \frac{(z_u - z_i)(y_u - y_i)}{\sqrt{\left[ (x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2 \right]^3}};$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_i} = -\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(z_u - z_i)^2}{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}}} \times$$

$$\times \left[ \frac{1}{\sqrt{\left[ (x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2 \right]^3}} + \frac{(z_u - z_i)^2}{\sqrt{\left[ (x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2 \right]^3}} \right];$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial x_i} = \frac{1}{1 + \left( \frac{y_u - y_i}{x_u - x_i} \right)^2} \frac{y_u - y_i}{(x_u - x_i)^2};$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial y_i} = \frac{1}{1 + \left( \frac{y_u - y_i}{x_u - x_i} \right)^2} \frac{1}{x_u - x_i}.$$



Подставляя в (8) различные значения координат ВО, координат РЛСС и значений  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  (табл. 1, 2), были рассчитаны соответствующие значения ошибок измерений сферических координат ВО в точке стояния РЛСС с координатами  $x = -2000 \text{ м}, y = 3000 \text{ м}$ . Результаты расчетов сведены в таблицы 3, 4.

Таблица 3

Значения ошибок измерений сферических координат ВО в точке стояния РЛСС с координатами  $x = -2000 \text{ м}, y = 3000 \text{ м}$  (высота ВО 3000 м)

Дальность до ВО, м.	Координаты ВО в прямоугольной системе координат, м	$\sigma_D, \text{ м}$	$\sigma_\beta, ^\circ$	$\sigma_\varepsilon, ^\circ$
1	2	3	4	5
18000	$x = 20000, y = 0, z = 3000$	576	3	3
	$x = 18000, y = 9000, z = 3000$	1566	9	3
	$x = 11000, y = 17000, z = 3000$	954	7,3	0,58
13000	$x = 15000, y = 0, z = 3000$	340	2,3	3
	$x = 13000, y = 7000, z = 3000$	1016	7,3	3
	$x = 7000, y = 13000, z = 3000$	1057	6,6	1
8000	$x = 10000, y = 0, z = 3000$	234	1,2	3
	$x = 8500, y = 4500, z = 3000$	457	4,6	2,3
	$x = 4500, y = 8500, z = 3000$	373	4,4	0,9
4000	$x = 6000, y = 0, z = 3000$	193	3	1,2
	$x = 5500, y = 3000, z = 3000$	232	3	1,8
	$x = 3000, y = 5500, z = 3000$	227	1,9	3,5

Таблица 4

Значения ошибок измерений сферических координат ВО в точке стояния РЛСС с координатами  $x = -2000 \text{ м}, y = 3000 \text{ м}$  (высота ВО 100 м)

Дальность до ВО, м.	Координаты ВО в прямоугольной системе координат, м	$\sigma_D, \text{ м}$	$\sigma_\beta, ^\circ$	$\sigma_\varepsilon, ^\circ$
1	2	3	4	5
18000	$x = 20000, y = 0, z = 100$	474	9	3
	$x = 18000, y = 9000, z = 100$	2215	33,6	4,2

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
	$x = 11000, y = 17000, z = 100$	1021	21,7	0,6
13000	$x = 15000, y = 0, z = 100$	240	6,3	2,6
	$x = 13000, y = 7000, z = 100$	1882	31,3	5,8
	$x = 7000, y = 13000, z = 100$	688	17,5	0,8
8000	$x = 10000, y = 0, z = 100$	125	10,7	6
	$x = 8500, y = 4500, z = 100$	733	21	4,3
	$x = 4500, y = 8500, z = 100$	165	5,6	2,2
4000	$x = 6000, y = 0, z = 100$	122	7,3	1
	$x = 5500, y = 3000, z = 100$	335	16,2	3,6
	$x = 3000, y = 5500, z = 100$	131	1,8	2

Анализ таблиц 3, 4 показывает, что уменьшение сектора поиска ВО возможно за счет использования ПРТС, например для дальности 18 км максимальный сектор поиска будет для высоты полета ВО 100 м будет  $(33,6^\circ \times 4,2^\circ)$ .

### 3. Анализ ошибок измерения координат воздушного объекта с помощью метода статистических испытаний

Границы рабочей зоны ПРТС с точки зрения ее эффективности относительно допустимых ошибок измерения координат ВО в заданном пространственном секторе в большей степени определяются возможностями аппаратуры относительно обеспечения необходимых ошибок измерения времени прихода сигнала на приемные датчики. Анализ составляющих систематических ошибок и случайных ошибок, обусловленных отношением сигнал/шум, нестабильностью аппаратуры, ошибками дискретизации и ошибками метода для систем с большими базами приведено в [546]. Выражения для оценок полярных координат с расположением приемных пунктов в одну линию, приведены в [547].

Отметим, что современные достижения в области радиоизмерительной техники дают возможность осуществить измерения временных задержек сигнала на основе фазовых измерений с достаточно высокой точностью. При этом для оценки временной задержки необходимо знание частоты сигнала и обеспечение условий сохранения когерентности системы на интервалах измерения. При неизвестном значении частоты и отсутствии обеспечения условий когерентности системы во времени получение такого результата невозможно. Проблематично такие измерения осуществить в условиях, пересекающихся во времени кодовых структур сигналов от различных ВО, которые одновременно работают в зоне ответственности ПРТС. С другой стороны, как известно [548], влияние внешней среды на амплитудно-фазовые искажения сигнала, особенно при малых углах места, может привести к непредвиденному негативному результату. Требования относительно кардинального уменьшения ошибок измерения времени прихода сигналов на приемные пункты, в свою очередь, обуславливают формирование соответствующих требований относительно геометрической конфигурации и точности измерения баз в любых погодных условиях. От конфигурации системы зависит выбор методов решения нелинейных уравнений [549]. Известные методы решения системы нелинейных уравнений (2) только при симметричном расположении приемных пунктов в одну линию позволяют получить аналитическое решение для расчета координат ВО. При нарушении этих требований в системе возникают ошибки, которые в широком секторе ответственности системы фактически невозможно компенсировать [546]. Методы решения системы нелинейных уравнений, которые базируются на итерационных решениях после линеаризации системы уравнений путем разложения в ряд Тейлора, делают возможным произвольное расположение приемных пунктов [549]. Однако итерационные решения не дают возможности получить полноценный результат в реальном времени, когда в зоне ответственности системы при большом разбросе расстояний и угловых координат находится много ВО, особенно, когда осуществляется пересечение

между собой сигналов от различных ВО, которые работают на одной или разных частотах в различных точках наблюдаемого пространства.

Решение систем нелинейных уравнений (2) приводит к тому, что нормальный закон распределения ошибок времени прихода сигналов на приемный пункт трансформируется к другим видам распределений в силу нелинейности самих решаемых уравнений. В этом случае получить аналитические зависимости плотности распределения ошибок измеряемых координат затруднительно. Поэтому для определения законов распределения предлагается использовать имитационное моделирование, основанное на статистических испытаниях.

Решая (2) путем разложения в ряд Тейлора и линеаризации уравнений относительно координат центрального датчика, можно найти пространственные координаты ВО  $x_u, y_u, z_u$ .

Предположим, что ВО находится в произвольном положении, т.е. направление на нее с центрального датчика не ортогонально базе и  $R_1 \neq R_2$  (рис. 1).

Запишем систему уравнений для определения  $R_1, R_2, R_3$ , используя приведенную на рисунке 1 геометрию [550]:

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{r_0^2 + B^2 - 2r_0B \cos(\alpha - \beta)} - r_0; \\ R_2 = \sqrt{r_0^2 + B^2 - 2r_0B \cos(\alpha + \beta)} - r_0; \\ R_3 = \sqrt{r_0^2 + B^2 - 2r_0B \cos\beta} - r_0. \end{cases} \quad (9)$$

Если расстояние  $r_0$  разложить в ряд Тейлора, ограничившись тремя членами разложения и считая допустимым, что  $r_0 \gg B$ , то система (9) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} R_1 = B - [\cos(\alpha - \beta) + 1]r_0 - \frac{1 - \cos^2(\alpha - \beta)}{B}r_0^2; \\ R_2 = B - [\cos(\alpha + \beta) + 1]r_0 - \frac{1 - \cos^2(\alpha + \beta)}{B}r_0^2; \\ R_3 = B - [\cos\beta + 1]r_0 - \frac{1 - \cos^2\beta}{B}r_0^2. \end{cases} \quad (10)$$

Решая совместно систему (10), получим:

$$r_0 = \frac{R_1(1 - \cos^2\beta) - R_2(1 - \cos^2\beta) - (R_3 + B)[\cos^2(\alpha - \beta) - \cos^2(\alpha + \beta)]}{[\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta)](1 - \cos^2\beta) - [\cos^2(\alpha - \beta) - \cos^2(\alpha + \beta)](\cos\beta + 1)}$$

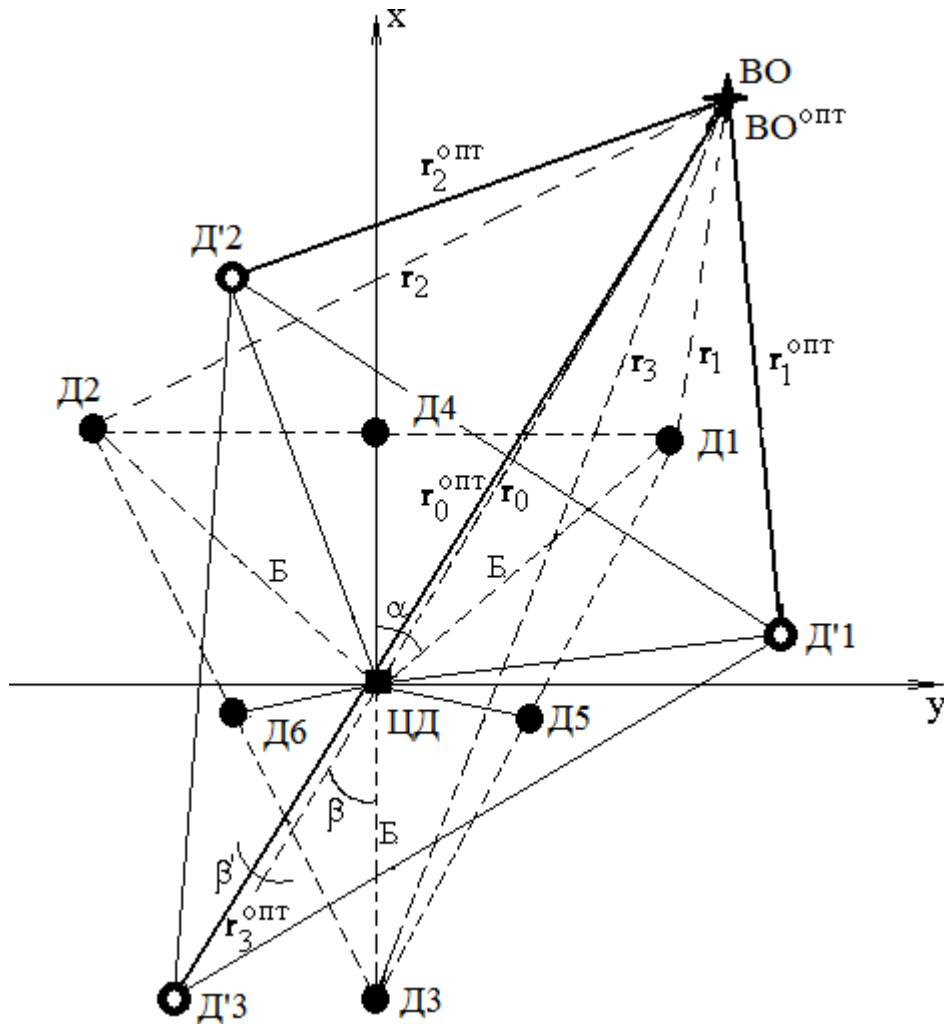


Рисунок 1. Выбор датчиков при формировании ПРТС

Выражение для СКО измерения дальности до ВО для случая, представленного на рисунке 1, имеет вид:

$$\sigma_{r0} = \sqrt{\left(\frac{\partial r_0}{\partial R_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial r_0}{\partial R_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial r_0}{\partial R_3}\right)^2} \sigma_R,$$

где  $\frac{\partial r_0}{\partial R_1} = \frac{1}{A}(1 - \cos^2 \beta);$

$$\frac{\partial r_0}{\partial R_2} = \frac{1}{A}(1 - \cos^2 \beta);$$

$$\frac{\partial r_0}{\partial R_3} = \frac{1}{A}[\cos^2(\alpha - \beta) - \cos^2(\alpha + \beta)];$$

$$A = [\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta)](1 - \cos^2 \beta) -$$

$$- [\cos^2(\alpha - \beta) - \cos^2(\alpha + \beta)](\cos \beta + 1);$$

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{\partial r_0}{\partial R_1} = \left[ \frac{0}{0} \right] = \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{(\partial r_0)'}{(\partial R_1)'} = \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{0}{[2\cos(\alpha - \beta) + 2\cos(\alpha + \beta)]^2} = 0.$$

Анализ полученных выражений показывает, что наименьшая ошибка будет в случае, когда  $\beta=0$ . Этот случай показан на рисунке 1 сплошными линиями для положения ВО ВЦ<sup>онм</sup> и расстояниях  $r_0^{онм}, r_1^{онм}, r_2^{онм}, r_3^{онм}$ .

Для получения расчетных значений ошибок измерений декартовых координат ВО был использован метод статистических испытаний. Программа для расчета реализована в пакете MAPLE, с помощью которой были получены гистограммы распределений ошибок определения координат ВО в предложенной системе координат ПРТС с размером статистической выборки  $N = 500$ , который обеспечивает необходимую достоверность полученных результатов [551].

Ошибку синхронизации СЕВ выберем 0,01 мкс [544]. В этом случае СКО разности расстояний составит величину  $\sigma_r = 4,2$  м и равным для всех датчиков,

координаты датчиков неизменны, высота полета ВО  $z_u$  составляет 1000 м, а ее другие координаты соответствуют (18, 13, 8, 4) км [552, 553, 554].

Модель налета, расположение датчиков, формирующих пассивный канал, представлены на рисунке 2.

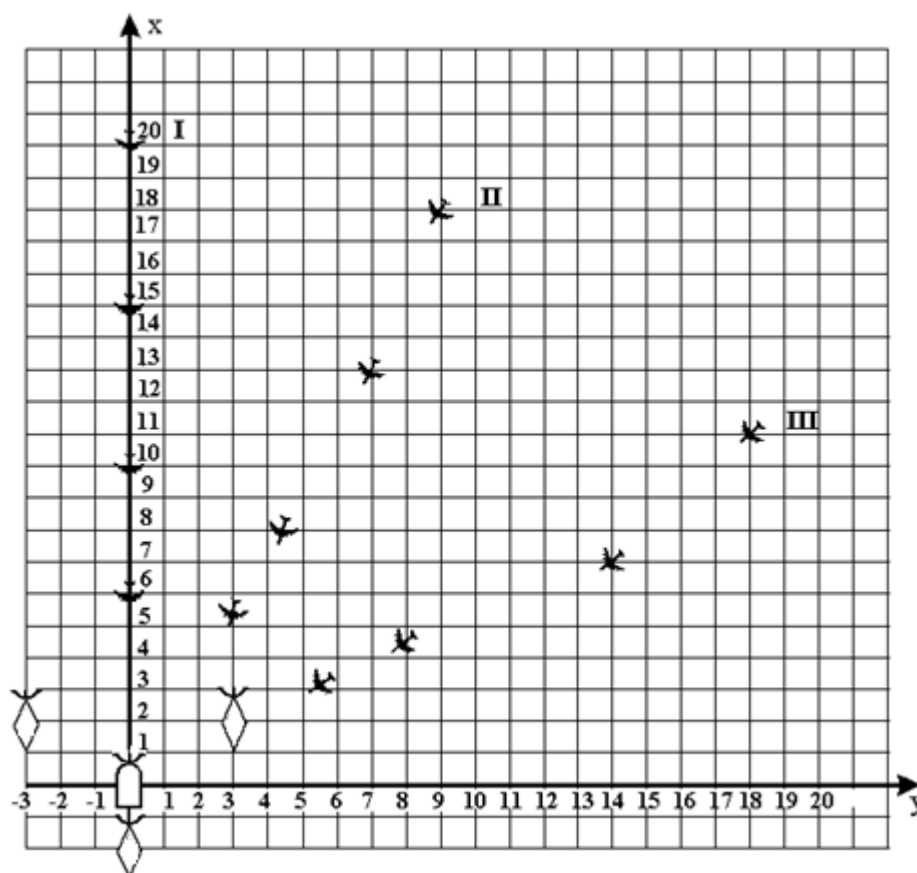


Рисунок 2. Модель налета и расположение датчиков, формирующих ПРТС

Результаты расчетов гистограмм распределений ошибок измерений декартовых координат ВО для различных дальностей ВО и при различных углах налета (I, II, III) представлены в таблице 5.

На всех гистограммах по оси абсцисс отложены возможные значения ошибок, по оси ординат – количество реализаций.

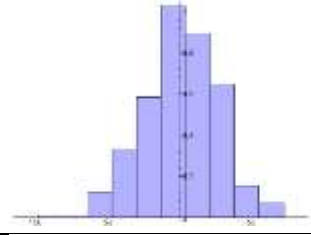
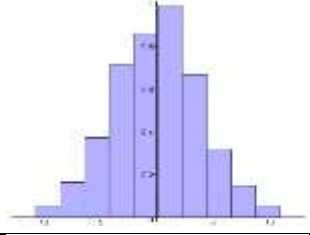
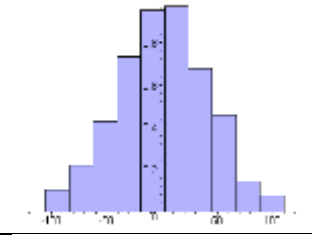
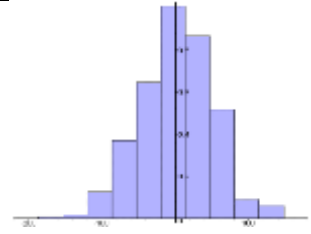
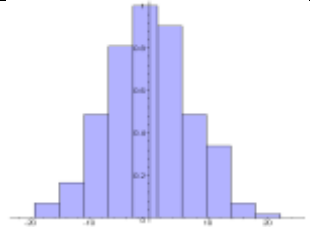
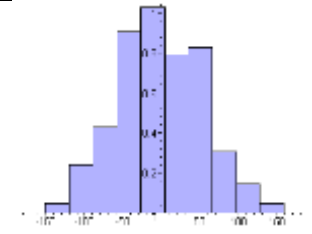
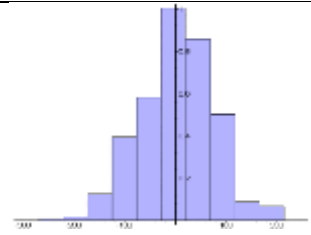
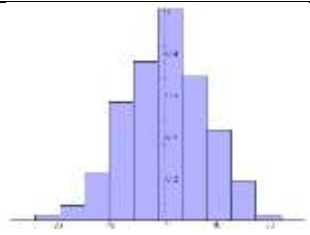
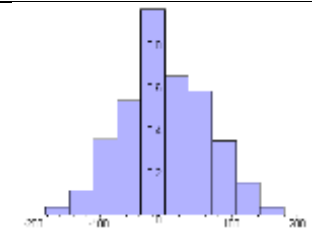
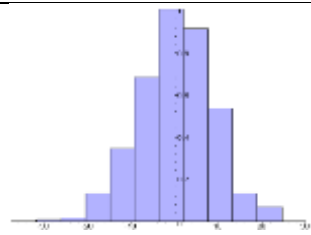
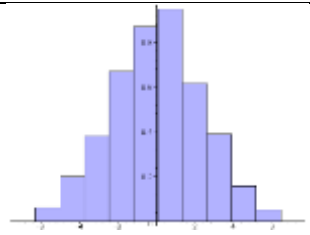
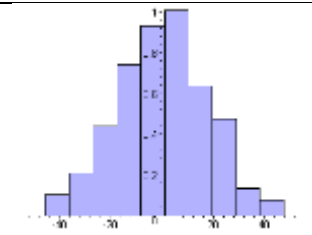
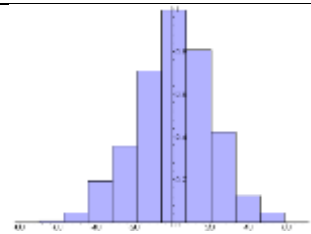
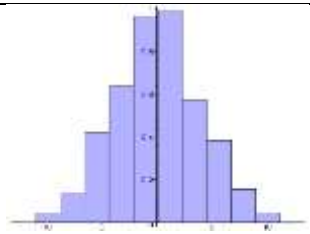
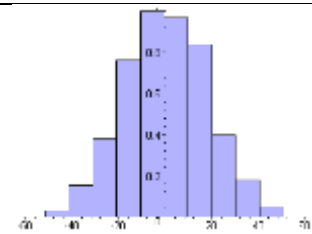
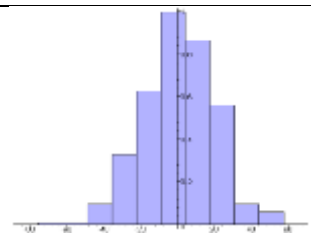
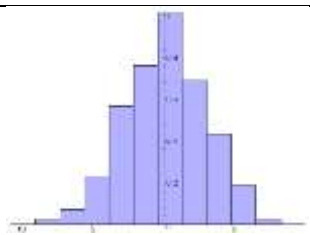
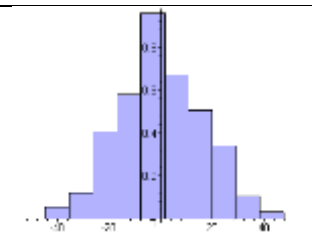
Анализ данных таблицы 5 показывает, что кривые распределения ошибок измерений координат существенно различаются при заданном положении датчиков и зависят от направления полета цели.

Таблица 5

Гистограммы распределений ошибок измерений декартовых координат для различных положений ВО

№	Координата ВО, м	вдоль оси x	вдоль оси y	вдоль оси z
1	2	3	4	5
	$x = 20000;$ $y = 0;$			
	$x = 18000;$ $y = 9000;$			
	$x = 11000;$ $y = 17000;$			
	$x = 15000;$ $y = 0;$			
	$x = 13000;$ $y = 7000;$			
	$x = 7000;$ $y = 13000;$			



$x = 10000;$ $y = 0;$			
$x = 8500;$ $y = 4500;$			
$x = 4500;$ $y = 8500;$			
$x = 6000;$ $y = 0;$			
$x = 5500;$ $y = 3000;$			
$x = 3000;$ $y = 5500;$			

#### 4. Уточнения числовых значений параметров законов распределений ошибок в процессе измерения координат ВО

При определении законов распределения ошибок измерения координат на основании гистограмм, приведенных в таблице 5, были выбраны следующие

теоретические непрерывные распределения с возможными значениями на всей числовой оси [555]:

Нормальный закон распределения с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\mu$  – параметр положения (математическое ожидание);

$\sigma > 0$  – параметр масштаба (стандартное отклонение).

Функция распределения имеет вид:

$$F(x) = 0,5 + \Phi_0\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right),$$

где  $\Phi_0(x)$  – функция Лапласа.

Двустороннее показательное распределение (распределение Лапласа) с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{1}{2}\lambda e^{-\lambda|x-\mu|},$$

где  $\lambda$  – параметр масштаба.

Функция распределения имеет вид:

$$F(x) = \begin{cases} 0,5e^{\lambda(x-\mu)}, & x \leq \mu; \\ 1 - 0,5e^{-\lambda(x-\mu)}, & x \geq \mu. \end{cases}$$

Распределение Коши с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{\lambda}{\pi[\lambda^2 + (x - \mu)^2]},$$

где  $\mu$  – параметр положения (медиана);

$\lambda$  – параметр масштаба (срединное отклонение).

Функция распределения имеет вид:

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{x - \mu}{\lambda}.$$

Распределение минимального значения с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\lambda} \exp\left(\frac{x - \mu}{\lambda} - e^{\frac{x - \mu}{\lambda}}\right),$$

где  $\mu$  – параметр положения (мода).

Функция распределения имеет вид:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-e^{\frac{x - \mu}{\lambda}}\right).$$

Распределение максимального значения с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\lambda} \exp\left(\frac{x - \mu}{\lambda} - e^{\frac{x - \mu}{\lambda}}\right).$$

Функция распределения:

$$F(x) = \exp\left(-e^{\frac{x - \mu}{\lambda}}\right).$$

Двойное показательное распределение с плотностью распределения:

$$f(x) = \lambda \mu \exp(-\lambda \mu - \mu e^{-\lambda x}).$$

Функция распределения:

$$F(x) = \exp(-\mu e^{-\lambda x}).$$

Логистическое распределение с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{\exp\left(\frac{x - \mu}{\lambda}\right)}{\lambda \left[1 + \exp\left(\frac{x - \mu}{\lambda}\right)\right]^2}.$$

Функция распределения:

$$F(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{x - \mu}{\lambda}\right)}.$$

Распределение Чампернауна с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\pi \operatorname{ch} \alpha(x - \mu)},$$

где  $\alpha$  – параметр масштаба.

Функция распределения:

$$F(x) = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} e^{\alpha(x-\mu)}.$$

Распределение Шарлье с плотностью распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \left\{ 1 + \frac{\gamma_1}{6} \left[ \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^3 - 3\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \right] + \frac{\gamma_2}{24} \left[ \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^4 - 6\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2 + 3 \right] \right\}$$

где  $\mu$  – математическое ожидание;

$\sigma$  – стандартное отклонение;

$\gamma_1$  – асимметрия;

$\gamma_2$  – эксцесс;

$\phi(x)$  – плотность вероятности стандартного нормального распределения.

Функция распределения имеет вид:

$$F(x) = \frac{1}{2} + \Phi_0\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \times \left\{ \frac{\gamma_1}{6} \left[ \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2 - 1 \right] + \frac{\gamma_2}{24} \left[ \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^3 - 3\frac{x - \mu}{\sigma} \right] \right\}.$$

Для определения параметров распределений использовался метод наименьших квадратов с точностью аппроксимации  $10^{-6}$ . В качестве критерия согласия при конкретизации вида распределения был выбран критерий  $\chi^2$  Пирсона с 5% - ным уровнем значимости.

В качестве примера приведем методику определения вида теоретического распределения путем аппроксимации данных гистограммы, полученных методом статистических испытаний, для строки 2 таблицы 5 ( $x=18000$  м,  $y=9000$  м,  $z=1000$  м) для  $z$ -составляющей.

На рисунке 3 представлена исходная гистограмма.

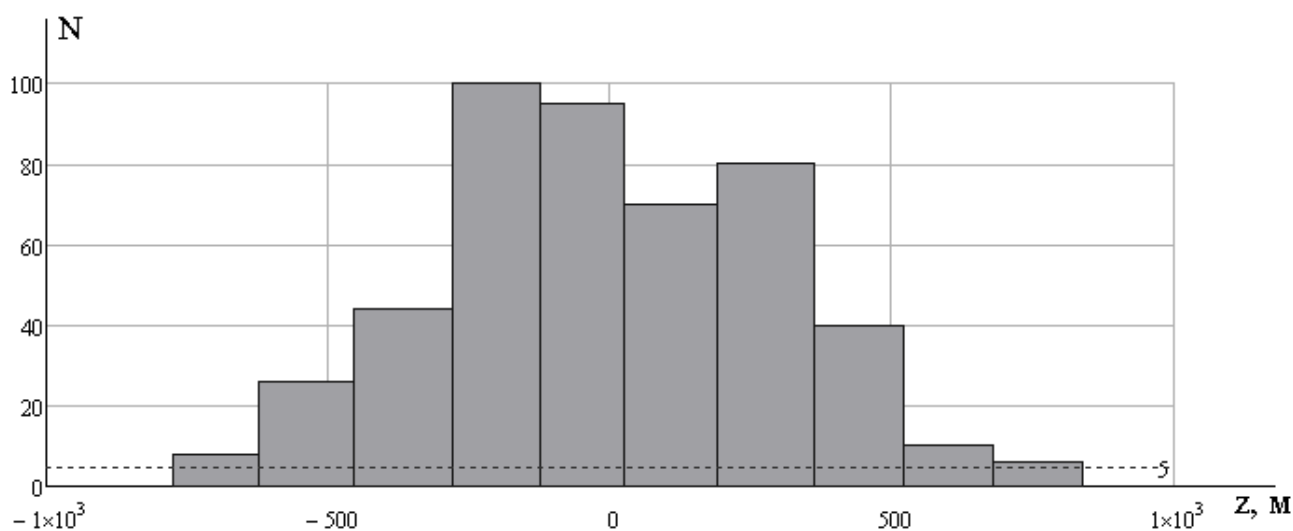


Рисунок 3. Исходная гистограмма

Далее проводится ее нормализация и при помощи метода наименьших квадратов с ошибкой  $10^{-6}$  для каждого из представленных выше 9 теоретических распределений определяются их параметры таблица 6.

Таблица 6

Параметры распределения различных законов распределения для z-составляющей ( $x=18000$  м,  $y=9000$  м,  $z=1000$  м)

№	Тип распределения	Параметры распределения
1.	Нормальный закон	$\mu = 310,8; \sigma = 13,6$
2.	Двустороннее показательное	$\lambda = 3 \cdot 10^{-3}; \mu = 4,7$
3.	Распределение Коши	$\lambda = 31,3; \mu = 125,5$
4.	Распределение минимального значения	$\lambda = 298,2; \mu = 78,8$
5.	Распределение максимального значения	$\lambda = 276,7; \mu = 91,9$
6.	Двойное показательное распределение	$\lambda = 4,2 \cdot 10^{-3}; \mu = 0,2$
7.	Логистическое	$\lambda = 192,6; \mu = 21,6$
8.	Распределение Чампернауна	$\alpha = 4,1 \cdot 10^{-3}; \mu = 31,4$
9.	Распределение Шарлье	$\mu = 21,4; \sigma = 256,2;$ $\gamma_1 = 0,3; \gamma_2 = -1,9$

После определения числовых значений параметров плотности вероятности для каждого из законов (рис. 4), может быть определена теоретическая плотность вероятности (рис. 5) для каждого из значений ошибки исходной гистограммы.

В результате расчетов определено, что ошибки измерений координат ВО для выбранного направления подчиняются закону Шарлье. Далее выдвигается гипотеза о том, что ошибка распределена по закону Шарлье с заданными параметрами, которая проверяется с помощью критерия согласия Пирсона с 5% - ным уровнем значимости. Аналогичной проверке подлежат и гипотезы о распределении ошибок по другим законам.

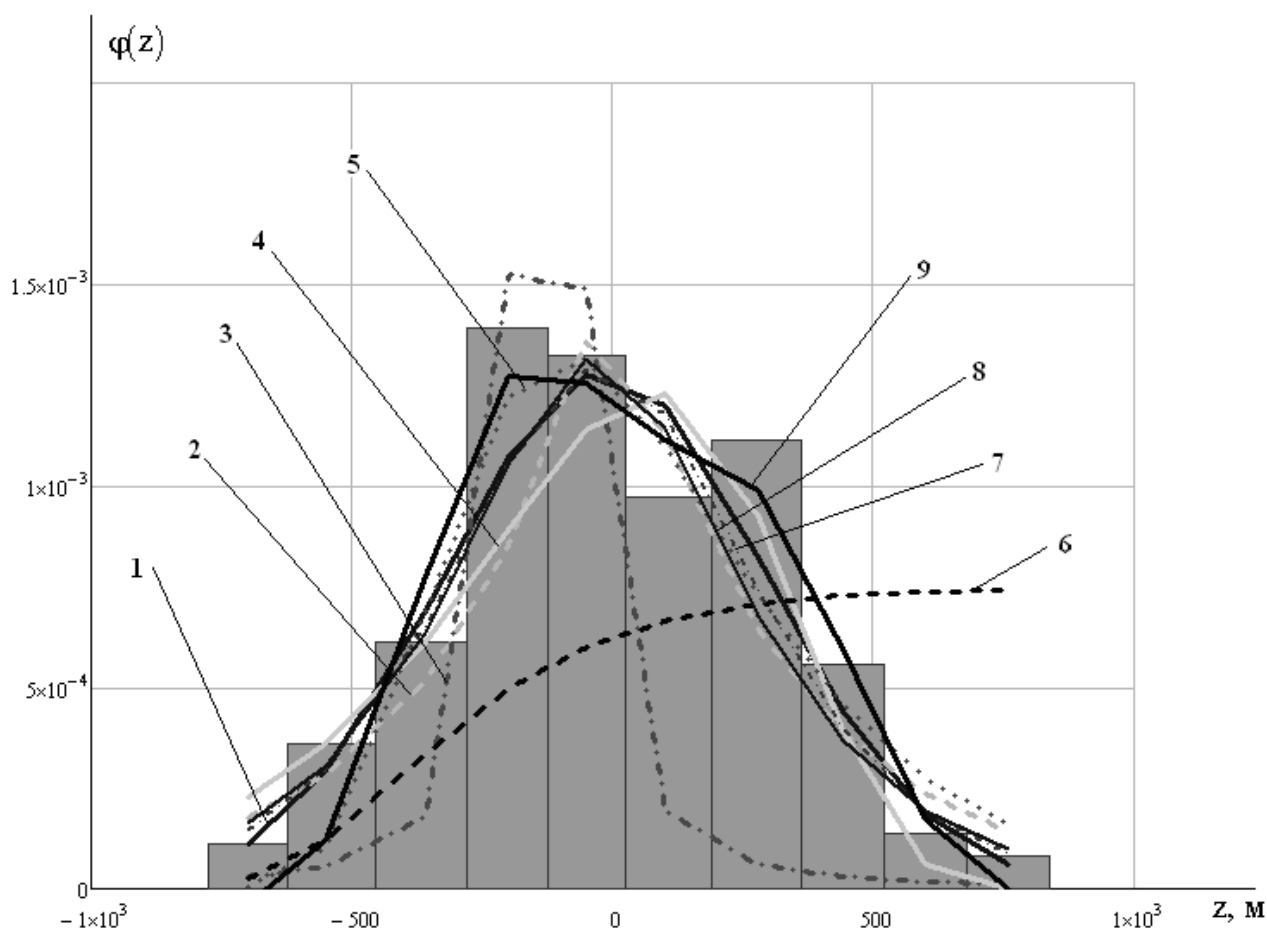


Рисунок 4. Расчетные значения плотности вероятности для различных законов распределения (цифры на графиках соответствуют № п/п табл. 6)

С учетом данных рис. 5 может быть рассчитана вероятность того, что ошибка попадает в заданный интервал для рассчитанного теоретического и нормального законов распределений:

$$P(\alpha \leq X \leq \beta) = F(\beta) - F(\alpha).$$

Расчетная функция распределения для рассматриваемого случая представлена на рис. 6, анализ которого показывает, что вероятность того, что

ошибка измерения координаты  $z$ , распределенная по закону Шарлье и равная 440 м, будет 0,9. При нормальном законе распределения такая вероятность может быть достигнута при ошибке измерения 520 м.

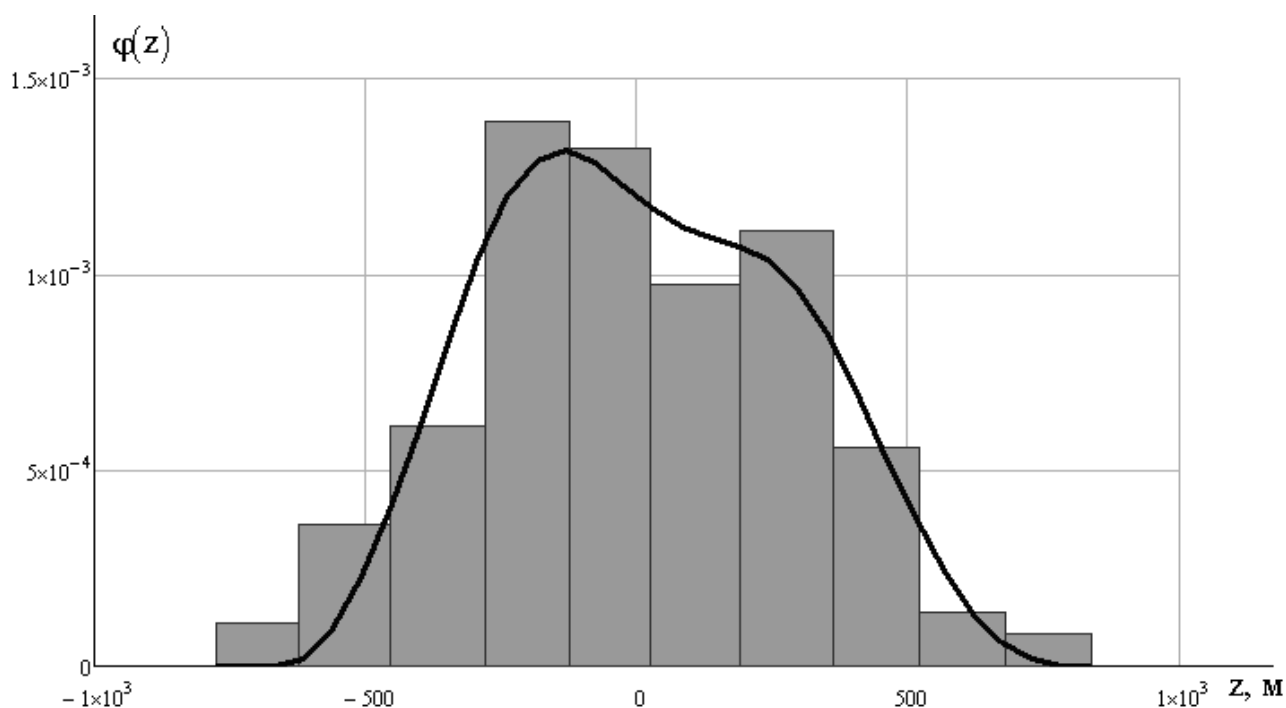


Рисунок 5. Расчетная плотность вероятности ошибок измерений

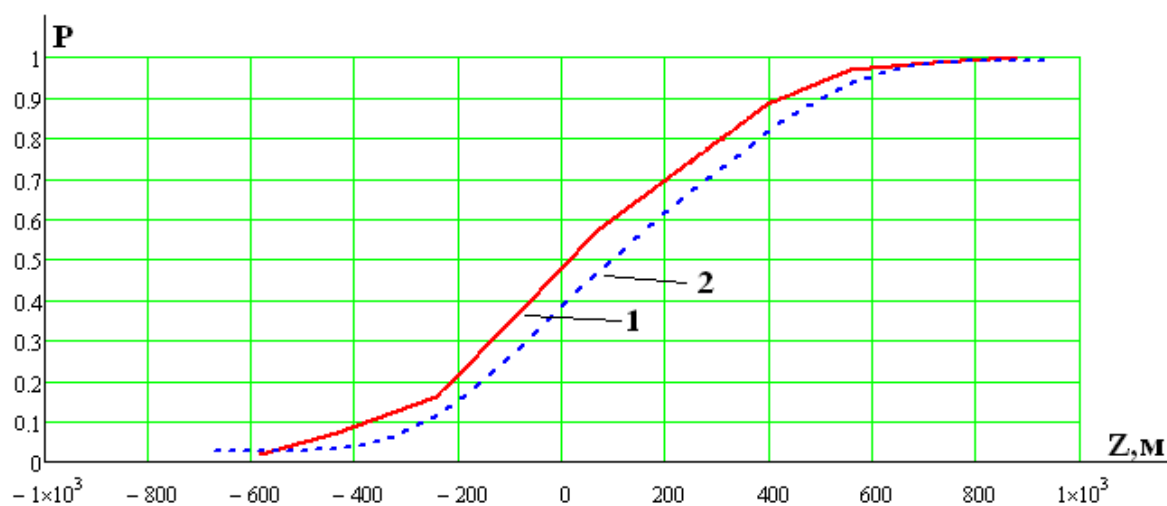


Рисунок 6. Теоретическая функция распределения (1) и функция распределения для нормального закона (2)

Задаваясь вероятностью  $P=0,9$ , что соответствует вероятности захвата цели на автосопровождение РЛС при отсутствии помех, получим, что точное определение закона распределения ошибок измерения координат позволяет

говорить об уменьшении ошибки выдачи значения координат ВО. Это приводит к уменьшению размеров зоны поиска и снижению времени поиска ВО в условиях радиоэлектронного подавления.

В табл. 7 представлены значения, рассчитанные для гистограмм табл. 5: приведен вид плотности распределения ошибки измерения, получаемой в результате применения описанной методики, параметры распределения, значение вероятности для расчетного и нормального законов распределения.

Таблица 7

Законы распределения ошибки и их параметры для различных положений ВО

№	Координаты ВО, м	Ошибка: (x, y, z), м	Закон распределения ( $\mu, \sigma, \gamma_1, \gamma_2$ )	Значение $P$ для реального закона	Значение $P$ для нормального закона
1	2	3	4	5	6
1.	$x = 20000;$ $y = 0;$	192	Шарлье (11,0; 115,2; -0,2; -1,0)	0,9	0,87
		16	Шарлье (-0,4; 9,6; -0,2; 0,8)	0,9	0,93
		280	Шарлье (83,4; 145,9; -0,3; -0,4)	0,9	0,88
2.	$x = 18000;$ $y = 9000;$	380	Шарлье (-59,9; 217,6; -0,7; -0,3)	0,9	0,9
		32	Шарлье (0,1; 19,2; 0,02; 0,02)	0,9	0,9
		430	Шарлье (21,4; 256,2; 0,3; -1,9)	0,9	0,83
3.	$x = 11000;$ $y = 17000;$	507	Шарлье (3,9; 308,2; -0,3; -0,1)	0,9	0,89
		17	Шарлье (3,5; 31,6; 1,5; 11,4)	0,9	0,83
		870	Чампернауна ( $2,9 \cdot 10^{-3}$ ; -41,6)	0,9	0,94
4.	$x = 15000;$ $y = 0;$	94	Шарлье ( $2,4 \cdot 10^{-3}$ ; 56,7; -0,2; -0,9)	0,9	0,87
		24	Шарлье (9,1; 10,4; 2,8; -4,6)	0,9	1
		157	Шарлье (-4,3; 95,2; -0,2; 0,2)	0,9	0,9
5.		194	Шарлье (23,6; 114,5; -0,2; -0,4)	0,9	0,88



1	2	3	4	5	6
	$x = 13000;$	17	Шарлье (1,2; 10,1; 0,1; 0,2)	0,9	0,9
	$y = 7000;$	189	Шарлье (7,1; 112,7; 0,3; -1,9)	0,9	0,83
6.	$x = 7000;$ $y = 13000;$	194	Шарлье (23,5; 114,5; -0,2; -0,4)	0,9	0,88
		13	Шарлье (-0,03; 7,8; -0,6; 0,2)	0,9	0,91
		360	Чампернауна ( $7,2 \cdot 10^{-3}$ ; -15,7)	0,9	0,94
7.	$x = 10000;$ $y = 0;$	38	Шарлье (0,1; 22,9; -0,2; 0,1)	0,9	0,9
		6	Шарлье (-0,1; 3,6; -0,3; 0,2)	0,9	0,91
		60	Шарлье (-1,2; 36,2; -0,1; -0,2)	0,9	0,89
8.	$x = 8500;$ $y = 4500;$	74	нормальный (44,2; 3,2)	0,9	0,9
		11,5	Шарлье (-1,3; 6,7; 0,1; -0,1)	0,9	0,9
		99	нормальный (56; 21,5)	0,9	0,9
9.	$x = 4500;$ $y = 8500;$	121	Шарлье (3,5; 73,3; -0,4; -0,2)	0,9	0,89
		14,5	Шарлье (2,2; 8,5; 0,01; 0,02)	0,9	0,9
		117	Шарлье (6,5; 70,8; 0,5; -0,4)	0,9	0,89
10	$x = 6000;$ $y = 0;$	15	Шарлье (1,0; 8,9; -0,3; -0,1)	0,9	0,9
		5,5	Шарлье (-0,8; 3,6; -1,4; 2,5)	0,9	0,97
		30	Шарлье (-0,1; 18,1; -0,1; -0,3)	0,9	0,89
11	$x = 5500;$ $y = 3000;$	31,5	Шарлье (-0,5; 19,1; -0,3; 0,1)	0,9	0,9
		6,3	Логистический (2,1; -0,1)	0,9	0,92
		28,7	Шарлье (0,8; 17,3; 0,02; -0,5)	0,9	0,88
12	$x = 3000;$ $y = 5500;$	32,3	Шарлье (1,9; 19,4; -0,1; -0,32)	0,9	0,89
		5,65	Шарлье (0,6; 3,4; -0,02; -0,02)	0,9	0,89
		29	Шарлье (0,3; 17,3; 0,4; -0,02)	0,9	0,9

Из результатов, приведенных в таблице 7, следует, что наиболее часто ошибки измерения координат подчиняются закону Шарлье. Отметим, что

распределение Шарлье используется, как правило, для сглаживания эмпирических распределений с умеренными асимметрией и эксцессом [555]. Этот закон в отличие от нормального закона распределения имеет меньшие ошибки при аппроксимации несимметричных гистограмм.

В большинстве случаев уточнение закона распределения ошибки позволяет повысить вероятность выдачи более точного значения координат ВО при одинаковой ошибке измерения координат для расчетного и нормального законов распределения.

5. Анализ точности определения координат воздушной цели пассивной радиотехнической системой с учетом ошибки времени синхронизации

Полученные ранее значения СКО  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  декартовых координат ВО  $x_u, y_u, z_u$  с центрального датчика дает возможность исследовать точность определения координат ВО с остальных датчиков, сравнить полученные данные с техническими возможностями РЛСС. Для этого необходимо декартовы координаты ВО, рассчитанные с центрального датчика, пересчитать в сферические координаты для остальных датчиков в соответствии с выражением (7).

Подставляя в (7) различные значения координат и значений  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  (табл. 6), были рассчитаны соответствующие значения ошибок измерений сферических координат ВО в точках стояния датчиков. Результаты расчетов сведены в табл. 8.

Анализ таблицы 8 показывает, что СКО измерения сферических координат  $\sigma_r, \sigma_\beta, \sigma_\varepsilon$  зависят от ошибки синхронизации в системе единого времени и для различных направлений полета ВО, различных расстояний до ВО и различных датчиков, организующих пассивную систему, будут существенно различаться.

Такой анализ может быть положен в основу методики выбора датчиков для сопровождения ВО.

Значения ошибок измерений сферических координат ВО относительно  
точек стояния датчиков

№	Координата ВО, м	$\sigma_D$ , м (дальность)	$\sigma_\beta^0$ , (азимут)	$\sigma_\varepsilon^0$ , ' (угол места)
1	2	3	4	5
Для датчика с координатами 1) $x = 2000$ м, $y = 0$ м;				
1.	$x = 20000$ ; $y = 0$ ;	112	2,7	0,7
2.	$x = 18000$ ; $y = 9000$ ;	287	2,4	0,6
3.	$x = 11000$ ; $y = 17000$ ;	420	1,7	0,2
4.	$x = 15000$ ; $y = 0$ ;	50	1,1	0,5
5.	$x = 13000$ ; $y = 7000$ ;	125	1,5	0,4
6.	$x = 7000$ ; $y = 13000$ ;	300	1	0,2
7.	$x = 10000$ ; $y = 0$ ;	16	1,5	0,25
8.	$x = 8500$ ; $y = 4500$ ;	58	1	0,3
9.	$x = 4500$ ; $y = 8500$ ;	99	0,3	0,1
10.	$x = 6000$ ; $y = 0$ ;	8	0,9	0,25
11.	$x = 5500$ ; $y = 3000$ ;	40	0,5	0,1
12.	$x = 3000$ ; $y = 5500$ ;	29	0,3	0,1
Для датчика с координатами 2) $x = -2000$ м, $y = 3000$ м;				
1.	$x = 20000$ ; $y = 0$ ;	168	1,9	0,5
2.	$x = 18000$ ; $y = 9000$ ;	321	1,9	0,3
3.	$x = 11000$ ; $y = 17000$ ;	416	1,4	0,15

## TECHNICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT

1	2	3	4	5
4.	$x = 15000; y = 0;$	87	0,9	0,3
5.	$x = 13000; y = 7000;$	145	1	0,2
6.	$x = 7000; y = 13000;$	295	0,8	0,2
7.	$x = 10000; y = 0;$	29	0,6	0,15
8.	$x = 8500; y = 4500;$	70	0,6	0,15
9.	$x = 4500; y = 8500;$	97	0,2	0,1
10.	$x = 6000; y = 0;$	18	0,6	0,1
11.	$x = 5500; y = 3000;$	38	0,3	0,1
12.	$x = 3000; y = 5500;$	28	0,15	0,1
Для датчика с координатами 3) $x = -2000$ м, $y = -3000$ м;				
1.	$x = 20000; y = 0;$	416	1,4	0,15
2.	$x = 18000; y = 9000;$	284	1,8	0,5
3.	$x = 11000; y = 17000;$	416	1,4	0,15
4.	$x = 15000; y = 0;$	64	0,9	0,3
5.	$x = 13000; y = 7000;$	124	1	0,35
6.	$x = 7000; y = 13000;$	295	0,8	0,3
7.	$x = 10000; y = 0;$	20	0,6	0,2
8.	$x = 8500; y = 4500;$	57	0,6	0,22
9.	$x = 4500; y = 8500;$	96	0,3	0,1
10.	$x = 6000; y = 0;$	11	0,6	0,1

TECHNICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT

1	2	3	4	5
11 .	$x = 5500;$ $y = 3000;$	37	0,5	0,12
12 .	$x = 3000;$ $y = 5500;$	28	0,13	0,06

**SECTION 12. TRANSPORT****12.1 Logistics of international trade transport between Ukraine and China**

The global market has been hit hard by domestic restrictions following the effects of COVID-19. Closed borders and a decrease in demand for certain groups of goods led to the fact that large Chinese manufacturers had to adjust to the situation. Major retailers have closed stores around the world. Sales decreased accordingly. However, consignments of any size could be ordered directly from China from Starbucks, Nike and Apple and other major brands.

At the first outbreaks of COVID-19, China closed borders and completely banned imports from other countries. The brutal measures stopped the development of the country's economy. The impact of such stringent measures was particularly noticeable in February 2020. The data says that Chinese exports fell 17.2% from a year ago. Today the borders are open and the situation is stabilizing.

Business development with China on the eve of the announcement of the pandemic has achieved strong results. Delivery by different types of transport could meet the needs of buyers in Ukraine. Chemical raw materials, electronics, clothing and footwear, equipment, building materials and other products have been supplied steadily. In parallel, the delivery price has also increased.

According to the State Statistics Service of Ukraine [556], in 2019 the trade turnover between Ukraine and China amounted to \$ 12.79 billion and increased by 30.4% compared to last year, while exports of goods from Ukraine to China amounted to \$ 3.59 billion (+ 63.3%), imports of Chinese goods to Ukraine amounted to \$ 9.20 billion (+ 20.9%). The negative balance for Ukraine during this period amounted to \$ 5.61 billion.

In 2019, the structure of Ukrainian exports to China was dominated by supplies: ore, slag and ash - 32.8%; cereals - 23.9%; fats and oils - 20.6%; residues and waste from the food industry - 7.6%; boilers, machines - 4.9%.

The general structure of imports from China was dominated by supplies of:

electric machines - 34.5%; boilers, machines - 16.8%; plastics, polymeric materials - 3.8%; land vehicles, except rail - 3.4%; toys - 3.0%; footwear - 2.9%.

In the first quarter of 2020, the trade turnover between Ukraine and China amounted to \$ 3.2 billion. Exports of goods from Ukraine to China amounted to \$ 1.3 billion (+ 95.7%), imports of Chinese goods to Ukraine amounted to \$ 1.9 billion (- 5.2%). The negative balance for Ukraine during this period amounted to \$ 0.6 billion.

In 2019, the volume of trade in services amounted to \$ 385.17 million and increased compared to 2018 by 30.6%. Exports of services from Ukraine to China amounted to \$ 162.71 million (+ 53.5%), imports to Ukraine from China - \$ 222.46 million (+ 17.7%). The negative balance for Ukraine was \$ 59.75 million.

The structure of exports of services from Ukraine to China was as follows: transport services 47.7%; business services 34.6%; construction services 6.5%; travel services 6.0%; telecommunications services, computer and information services 2.2%.

The structure of imports of services from China was dominated by: services related to financial activities 43.0%; business services 26.1%; transport services 14.9%; telecommunications services, computer and information services 10.6%; construction services 2.1%.

After the deterioration of the situation in the world, there was a decrease in the demand for sea freight, rail and air delivery. Exports decreased due to a decrease in the number of flights. In fact, forecasts for business development and international trade relations between China and Ukraine are positive. The announcement of the second wave is no longer so scary for entrepreneurs. A system of cooperation and delivery of all groups of goods has been developed.

The crisis in the Chinese economy today is not as bad as expected. The trade turnover remained at the same level. Financial forecasts are positive. Decrease in delivery volumes, if any, is insignificant. Goods from China are also in stable demand in the Ukrainian market. The Chinese market is so huge that everyone seems to be producing here.

For the past five years, the Chinese have given preference to Ukrainian grain, vegetable oils, machinery, industrial waste. This is due to the fact that Ukrainian laws

are very demanding on quality. Import from China, of course, happens more often, but the quality of goods from Ukraine can be appreciated by local residents. This is especially true for those for whom the price is not the issue. It is better to start trading with the establishment of legal and professional ties, so that the path to China is not closed for you for a long time.

Products from China are very popular today. The share of their import to all countries of the world exceeds 70% of the total volume. Local producers managed to achieve such a scale thanks to the competent tax policy of the government. In recent years, most of the world's industrial complexes have moved to the Middle Kingdom. From that moment on, this Asian country ceased to be the birthplace of cheap fakes. Now it has become profitable for large brands to produce here, for traders to buy, and for buyers to save. Thus, a new Asian round with a different order of prices has emerged in world business. Although China's goods have the widest range of names, it would be wrong to say that they are all from branded manufacturers. No one has eradicated the production of counterfeits and low-quality products in this country. Therefore, it is necessary to be careful and discerning when trading transactions. Better yet, take advantage of professional advice.

China is leading among the economies of Asia and Japan, overtaking the world leader - the United States. Accurate and harmonious logistics with China makes it possible to transport Chinese goods in huge quantities, as well as to increase the volume of exports.

The trade routes are greatly influenced by the geographical position, the isolation of the state from society. The Chinese put a lot of effort into this direction, but trade routes cannot be called ideal. It is for this reason that the Chinese goods are on the way: 1) for a very long time, but profitable for businessmen; 2) comes quickly, but with large material costs.

Key areas of logistics and transport productivity in the Chinese: sea shipping (the Chinese invest heavily in ports); railway transport Automobile transportations; air delivery. Advantages of sea delivery of cargo: at an affordable price and profitable; safety of cargo; volumes; dimensions; availability; profitable planning.



The Chinese are investing heavily in the development of their own railway infrastructure, both in freight and high-speed passenger transportation. This is of great importance for the growth of China's logistics. Advantages of transporting goods by rail: trains move quickly at any time; when compared with air delivery, the prices are much lower; security; delivery is carried out strictly on schedule; you can transport non-standard and oversized goods; the weather does not affect the delivery; goods can be transported in any quantity; the cargo can reach Ukraine in 22 days [557].

Automobiles are an important part of the domestic freight traffic in the People's Republic of China. Cars move along highways. The line of highways improves over time, this allows for the delivery of a huge amount of goods.

Air Freight: air freight traffic is constantly increasing at approximately 7% per year. In general, the Chinese use air transport to transport electronics and other small-sized cargo with high margins.

Currently, the manufacturer's inspection services are popular in China. During the inspection, the quality of the packaging and the corresponding condition of the baggage, its quantity, etc. are checked before the sale.

Unexpected situations do happen, for example, you can find a low-quality product during loading or transportation. In this case, the firm must compensate for the loss.

Key stages of starting a business with China: formation of technical specifications; a superficial study of the shortcomings of logistics and costs; Search for manufacturers; checking the reliability of Chinese firms; visit to production, quality analysis; conclusion of a contract; legal support; import of samples, registration of permits; delivery method; the most popular terms of delivery from China are FOB and EXW [558].

The final stage of container transportation from China is delivery from the port of arrival to a warehouse in Ukraine. It includes: loading and unloading operations; forwarding in the port and delivery of a container ship to the terminal and to the place of unloading; customs clearance.

Customs clearance is one of the most important stages, since customs payments occupy a significant part in the formation of the cost of production. In Ukraine, as in

many other countries, a value-added tax has been introduced on goods of imported origin, which is paid upon import of goods. In addition to value added tax, an import duty has been introduced on a significant part of goods, which is measured as a percentage of the invoice value of goods and depends on the Ukrainian classification of goods for foreign economic activity.

The People's Republic of China is very far away, for this reason, the delivery of goods takes a long period of time. Logistics from China - creating a route, selecting a type of transportation, etc., must be approached carefully so that in the end the costs are minimized.

## 12.2 Innovative technologies in the logistics of international transport

Technologies that help automate certain processes have penetrated almost all spheres of human life. Logistics has not been spared by innovation either. Moreover, technologies can perform a full cycle of certain actions without human intervention.

### Robotization of transportation

An illustrative example of this is the Plato system, in which cars are controlled only by the received data using monitoring [559]. "Platonism" - the cargo transportation system works on the principle of a leading car equipped with digital technologies: several trucks are moving along the same road, controlled by a single electronic network. The program monitors external and internal indicators, makes analysis based on the data and makes decisions on further movement. Those following the first transport from this chain receive the necessary information and commands from the leading vehicle. Logisticians only control the entire process; at the time of emergency situations, they can make adjustments.

For Germany, the automation of cargo transportation is not an end in itself, but a solution to specific problems, because the country is experiencing a shortage of personnel among truckers. Convoys equipped with special software, according to the idea, should also reduce the congestion of the intercity route, allow more efficient and safer use of the carriageways of the autobahns. For the 7-month test, two professional drivers were recruited to keep control of the automated MAN trucks. The route was built between the points of the transport company DB Schenker inland.

The result of the test is impressive: out of 35,000 kilometers traveled, only 2,000 km did the drivers make changes to the course of movement, that is, 98% of the site was handled independently by the electronic network! Platonism also showed other positive results, namely, fuel economy: the first truck saved about 5%, and the next cars reduced consumption by 10% on average [559]. Absolute implementation with the complete exclusion of the driver's staff is possible in the foreseeable future, already by 2025 [559].

### Supplier relationship management

It often seems that international shipping of goods is simply ordering the product and transporting it to its destination. However, this is a more complex process that requires control at all stages. An important point for the entire supply chain is control through systems such as SRM [559].

Supplier relationship management (SRM) is the process of finding suppliers that are critical to the business and implementing a system for key suppliers. As supply chains become more complex, the need to develop clear, measurable ways to assess how each supplier is contributing to or reducing business success becomes more important for customers.

SRM is part of an overall supply chain management strategy aimed at optimizing efficiency in a way that benefits all parties. SRM's goal is to leverage supplier relationships to create value and profitability for the business. Done right, supplier relationship management can reduce wholesale costs, increase efficiency, and eliminate redundancies in the supply chain. The data will directly show whether it is profitable to work with a supplier in terms of timing, price dynamics and product quality.

SRM helps companies identify suppliers that offer fixed prices, which eliminates the problem of price fluctuations. Analyzing supplier relationships and focusing on those that are most beneficial can also give companies leverage to negotiate cost savings in exchange for longer contract terms, higher minimum order levels, and other contractual issues.

#### Effective communication with drivers

The use of bot technology for customer support, commonly known as Chatbots, is gaining increasing popularity among businesses today [559]. Research shows that over 80% of communication with customers on websites or mobile apps is done through chatbots. Chatbots are very valuable for companies because they can work around the clock, are easy to use and eliminate the human factor.

Research by Statista shows that the global chatbot market will reach \$ 1.25 billion by 2025. These numbers are proof that industries around the world are recognizing the importance of chatbots in their businesses and are already incorporating them into

existing systems [560].

Chatbots provide fast, accurate and personalized service to drivers in real time without any delay. In addition to providing a high quality of service to drivers, this reduces costs and also optimizes driver time management.

#### Increasing employee productivity

Chatbots reduce the operational costs that are spent on day-to-day tasks such as scheduling appointments, updating CRM, generating documents, and more. This, in turn, increases the overall productivity of employees, as they do not have to perform daily tasks repeatedly. As productivity increases, the overall level of efficiency of a logistics company will increase. Critical tasks will receive more attention and will be completed quickly and accurately.

According to the study, almost 2/3 of Internet users consider 24/7 service to be one of the best chatbot features. As such, it becomes an integral part of increasing customer engagement and experience as chatbots are available around the clock to assist users with any of their requests.

What's more, bots can help your user find similar queries on a website or mobile app. Thus, it contributes to a better customer experience and reduces the bounce rate from your website or mobile app.

Chatbots will serve all the stages that occur in the process of a logistics company. From product purchase to software updates and shipping scheduling, chatbots provide everything. In addition, chatbots will also notify about any nuances or vehicle breakdowns.

No human intervention is required to complete all these tasks, as chatbots can easily manage everything. Chatbots will complete all tasks at a given time with greater precision. Automation can also help streamline day-to-day tasks so that no extra time is wasted on them. Chatbots for the logistics industry will allow customers to check and cancel their orders or revise product shipments. Bots can use the order tracking number from the logistics company's database and guide the customer to the process more quickly.

In addition, the process of tracking cargo can be made much better by using chat

bots. Gone are the days when a user had to fill out online forms on a company website. Today, the user just needs to activate the chatbot and provide all related information without going through a long and tedious process.

In addition to this, the client can more conveniently access the new, improved AI-powered chatbot using voice assistants such as Alexa, Google Home and Siri, which also track shipments.

The importance of chatbots for logistics companies is not only in improving the customer experience, but also in helping to improve the overall efficiency of the organization. Thus, it is important for logistics and supply chain companies to incorporate chatbots into their workflows.

### Feeder shipping

Sea transportation is not only about large cargo liner ships filled to the brim with large containers. Much more often, the waves plow relatively small vessels, delivering small consignments of cargo to large ports or immediately to their destination. It is feeder transportation that significantly speeds up the delivery of goods to the consumer.

Feeder transportation is the same international cargo transportation by seas and rivers, only shipping companies use small vessels [560]. They are also suitable for container delivery. They only allow you to do it in smaller batches. Due to this, in the so-called cargo centers - large ports, containers are collected for their subsequent concentration and further shipment to their destination.

International transportation has a lot of nuances - it is necessary to obtain the required permits, calculate all possible route options, agree on the cost and delivery date. Therefore, the specialists who work on feeder transportation: - quickly handle vessels of small capacity, which excludes their downtime in the port due to the lack of free berths; - take into account short and long distances, creating an optimal route in terms of duration; - can quickly load large vessels that carry out regular container transportation along shipping lines; - guarantee to customers the delivery of goods on time due to the fast manning of ships; - get the opportunity to carry out multimodal transportation, including from small sea or river ports. Transport experts do not just use feeder vessels for nothing. They have proven to be effective in delivering

containers to small ports.

Depending on your goals, consolidation can take place at different stages of delivery. For example, the cargo can be repackaged on different ships, warehouses, or the required volume will be accumulated by the manufacturer until he sends the entire batch. If you are willing to spend a little more time and save money, consolidation is a great option. Consolidated delivery will be convenient for those who are engaged in small and medium-sized businesses.

In order to simplify the delivery process, it is worth cooperating with experienced logistics companies. The services of logistics companies include commercial invoices, customs clearance, repackaging and consolidation of goods. It's fast and reliable, providing value for money and saving time and money. Consolidated shipping is an easy way to reduce shipping costs, especially when you buy items from multiple vendors.

### 12.3 Energy efficiency improving of cargo and passenger vessels

Every voyage offers the opportunity to optimize speed, find the safest route and make sure the ship is sailing at the best draft and trim and tuned to keep course efficiently. To identify the most interesting energy efficiency measures for ships we used the information from several reports. Here we would like to focus on measures that result in high savings that can be applied to many ship types and preferably also to existing vessels. Ships in operation should also pay due consideration to the energy efficiency of shipboard machinery and equipment. Optimizing the use and operation of mechanical and electrical systems can offer improvements in fuel consumption as significant as hull cleaning or voyage planning. Let's review some methods of improving energy efficiency.

#### **Hull Form Optimization**

In general, the optimization of hull and superstructure focuses on minimizing the resistance by reducing the wave resistance and friction between water and hull. It is important to recognize which type of vessel is to be optimized. The reduced frictional resistance increases energy performance of the vessel particularly at low speeds. Operability and performances of the ship must be considered in detail. The improvements measures are generally applied at new-built ships but also applicable to retrofitting. Increasing the length while reducing the beam and maintaining the draft, displacement and block coefficient ( $C_b$ ) constant typically yields improvements in hull efficiency, provided additional ballast is not needed to maintain adequate stability. A higher length/beam ratio tends to reduce wavemaking resistance, while the reduced beam/draft ratio tends to reduce wetted surface and therefore the frictional resistance.

Increasing draft by reducing  $C_b$  and/or beam results in improvements to hull efficiency, and may provide the additional advantage of allowing for a larger propeller to be fitted. Increasing length while reducing  $C_b$  will reduce the required power. This is because over typical ranges of length/beam and beam/draft ratios the reduction in wavemaking resistance from increased length and reduced  $C_b$  offsets increases in wetted surface and therefore the frictional resistance.



## Bow optimization

The different bow optimizations can improve the water flow around the hull and reduce the wave-added resistance for large vessels with high block coefficient operating within commercial speed ranges. The average energy reduction potential ranges from 2.5-20%, on average 10%.

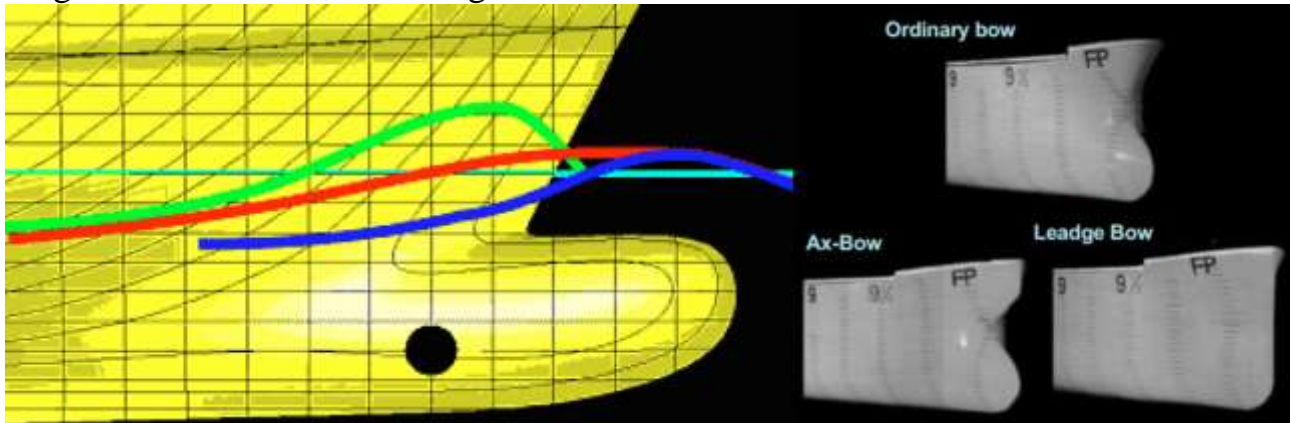


Figure 1. Bulbous bow

On the left: The green line characterizes the ordinary bow wave of the hull. The blue line characterizes the wave formed by the bulb. The red line is the sum of these two. The altitude of the bow wave is noticeably reduced, which reduces the hull drag associated with the bow wave.

On the right: Ordinary bulbous bow, ledge bow and ax-bow shape (JSEA 2006 type).

## Hull coating

Hull coatings (Figure 2) can lower frictional resistance and limit fouling by aquatic organisms. It can save between 1-9% fuel consumption on average 5%. In general, a smooth hull surface is considered to be conducive of best performance and, to a large extent, this is the case when the alternative is a fouled hull as a consequence of marine growth. However, it has been demonstrated that some further benefits can be achieved by adopting particular types of surface texturing in place of a uniformly smooth hull. More specifically, the presence of riblets and semi-spherical microcavities of certain sizes can distort the flow through the boundary layer and thus reduce skin friction.



Figure 2. Hull coatings

### Propellers

Numerous devices have been designed for improving the energy consumption of vessels by recovering as much as possible of this rotational energy in the flow from the propeller, or to provide some pre-or post-rotation of the in flow into and after the propeller to ensure best efficiency. Propeller Polishing or regular underwater cleaning and reconditioning of the surface of a propeller is done with a small rotating disk that can easily conform to the complex shapes of the blades without gouging the surface. This tool removes all fouling and produces a very fine surface scratch pattern in the range of 1 to 2  $\mu\text{m}$ . This is similar to what would be expected of a newly manufactured blade surface. Any large nicks or damage, especially to the leading edges or tips, should also be repaired and smoothed out.

### Contra-rotating propellers (CRP)



Figure 3. Conventional and contra-rotating propeller

A rotating propeller induces a rotating motion in its backwash. Normally this rotation energy of the propeller gets lost. The contra-rotating propeller is used in order to recover part of this energy (Figure 3). In a contra-rotating configuration two propellers are facing each other, rotating in the opposite direction, with the aft propeller recuperating the turning energy in the wake from the forward propeller (IMO 2011).

To avoid complications with cavitation, the aft propeller usually has a smaller diameter than the front propeller. Contra-rotating propeller arrangements involve a short shaft line and for that reason primarily suitable for vessels with single-screw.

On the left - conventional propeller. On the right - contra-rotating propeller. The working principle is simple and effective: the power is split at a forward and aft propeller which through the different direction of rotation cancel out the rotational energy losses behind the propeller (WÄRTSILÄ 2009 type).

### **Podded and Azimuth Propulsion**

The main difference between pods and azimuth thrusters is that in podded propulsors the propeller is powered by an electric motor located in the pod immediately in front or behind the screw, while in azimuth thrusters, the propeller is powered by an L or a Z shaft line, with the engine/motor located inside the ship. While pods have been used extensively during the last decade on large passenger ships and ferries, azimuth thrusters have mostly been used on offshore floating installations and tugs. Since azimuth thrusters normally work in nearly bollard pull conditions, they often adopt a ducted propeller.



Figure 4. Podded Azimuthing Propulsion

### **Weather Routing – Safe and Energy Efficient Route Selection**

Planning vessel voyages according to expected weather has been an accepted practice for a very long time. For at least 50 years computers have been used to aid weather forecasting and evaluate simulated voyages. The fundamental goal is to select

a course from the departure port to the destination port that provides the safest passage and reliable on-time arrival while taking into account actual wind, wave and current conditions expected during the voyage. The biggest change in recent years has been the shift in focus from a fast and safe route to a safe and energy efficient route. Weather routing is now closely tied to voyage performance management where the goal is achieving the ‘optimum’ speed with as little fuel consumption as possible while protecting the safety of the crew, passengers, ship and its cargo. As such it is part of the solution providing just-in-time logistics planning and it facilitates effective use of slow steaming.

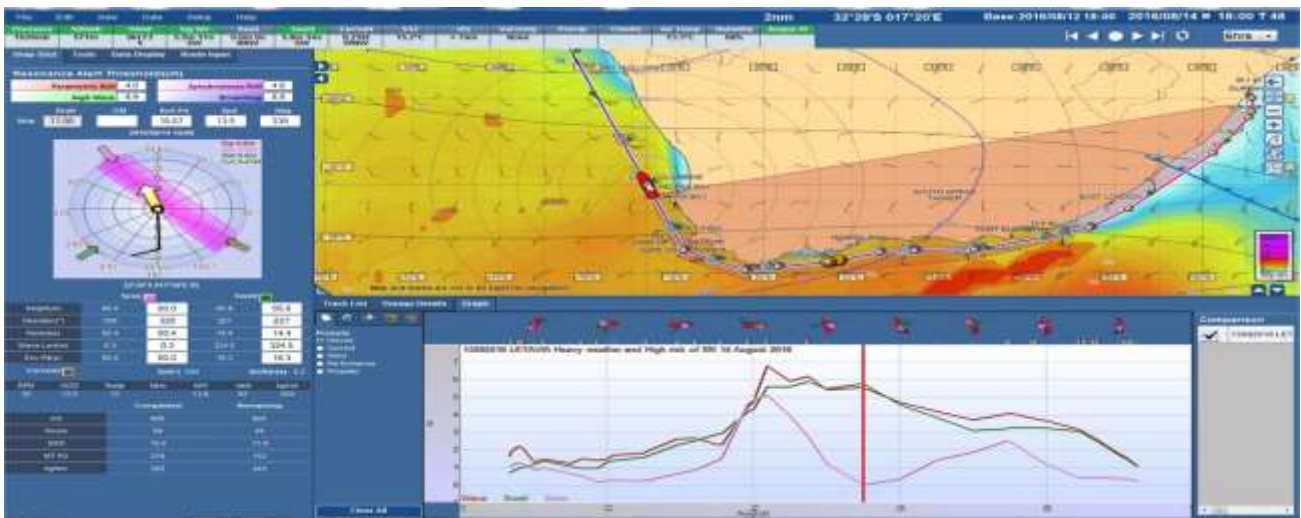


Figure 5. Weather forecast application SPOS

Routing is based on different types of weather and meteorological forecasts. Short range weather forecasts out three to five days are now generally available and reliable. They are based on current observations, including surface and upper air pressures measurements, wave buoys and satellite data collection, and meteorological models. Extending the forecasts out to 14 days is usually done by matching historical weather patterns and global wave models to current conditions and using these to make predictions on sea states. The extended forecasts allow longer range study of possible course deviations, such as routing around developing storm systems.

### **Autopilot Improvements**

Rudder movements add drag to the hull and increase resistance. Minimizing the number of times the rudder is used and the amount of rudder angle that is applied to

maintain course or execute a change of course will save fuel. This is true under manual steering as well as when an autopilot is engaged. When considering how much rudder to apply the controlling constraint is allowable course deviation. Allowing large course deviations will reduce the rudder use and angular movement, but may also increase the distance sailed. Making wise choices about this constraint and having an autopilot that can minimize rudder use in any type of seaway may result in up to a 1 percent savings in fuel over a poorly tuned autopilot or manual steering. Where the vessel is directionally unstable and/or there are large vessel dynamics (due to wind, waves and current), large rudder angles can be required. In addition, changes in draft, speed and water depth can change the fundamental relationships between rudder angle and vessel response (turning rate). An adaptive system takes feedback on the rate of response of the ship to a given rudder angle and automatically adjusts, or ‘adapts’ the steering control model. A steering model adapted to actual conditions helps prevent excessively frequent or large rudder motions (so called hunting) in course-keeping and course-changing modes. When selecting an adaptive steering system one should judge its performance based on qualities such as a high accuracy of course-keeping, shorter time of rudder actions with smaller angles, lower swing of the ship’s bow even in strong waves and winds, and higher course turning speed. By measuring the frequency of rudder movements and the rudder angles required at sea in course-keeping mode it is possible to assess, at least on a qualitative basis, how well the autopilot is performing. The autopilots typically allow the user to select limits on rudder control or heading, for instance, the maximum heading deviation that is allowed. These selections should be based on total fuel efficiency and include consideration of distance sailed. A voyage routing or performance tool can integrate these options into the overall course prediction.

## **12.4 Application of practical aspects of Incoterms 2020 and customs legislation while carrying out foreign economic activity**

Deeper development of foreign economic activity of the country, the growth of the volume and complexity of international worldwide trade relations are not possible without the implementation and correct use of the rules recognized in the world.

Each country has its own characteristics and requirements of customs legislation, so the International Chamber of Commerce has developed universal rules that allow to unify and standardize the conditions in international trade. Such rules create transparent and understandable conditions for all market players and define the important responsibilities of buyers and sellers for the supply of goods under international sales contracts. Such standardized rules are the Incoterms rules, under which the contract of sale clearly sets out the main obligations of the parties, such as cost allocation and risks transfer from one party to another, thus significantly reducing the risk of legal complications.

Theoretical analysis of export-import activity of enterprises and application of Incoterms rules as a condition component while foreign trade contract preparation has been studied by numerous domestic scholars, in particular Yu. Kozak, N. Logvinova[569], O. Martsinkovska [570], Yu. Tansura [571], O. Trusov [572] etc.

Objectives setting. The purpose is to research the features of customs clearance of goods while export - import and the delivery terms Incoterms 2020.

Application of Incoterms rules in Ukraine is provided by paragraph 4 of Article 265 of the Commercial Code of Ukraine, paragraph 2.19 of Article 2 of the Law of Ukraine "On State Support of Agriculture of Ukraine", Article 8 of the Law of Ukraine "On Freight Forwarding", Article 9 of the Law of Ukraine from dumped imports and Article 14 of the Law of Ukraine " On the application of special measures for imports into Ukraine ".

On January 1, 2020, the version of the Incoterms 2020 rules came into force [573]. It does not cancel the previous version, so contracts can be signed on terms Incoterms 2010 or Incoterms 2000.

The changes to the Incoterms 2020 rules were made by the International Chamber of Commerce on the basis of a careful analysis of world trade practices and are aimed to help international businesses reduce risks during export-import operations. Therefore, the top priority of the revision of the rules is to unify, structure, submit and change the new version of Incoterms so that the business chooses the supply terms that meet expectations in compliance with the essence of the agreement. The updated version of Incoterms 2020 provides the following key changes:

- Division of rules into groups. Developers of the version of the Incoterms 2020 grouped the terms by transport mode, so when choosing the terms of delivery to be indicated in the contract parts should be guided primarily by the analysis of the supply chain and delivery route.

- FCA term and on-board bills of lading. The new version of the rules expands the possibilities of using the term FCA in maritime transport. The version of Incoterms 2020 provides the possibility of using FCA for the collection or documentary letter of credit when paying goods under a bank guarantee. In this case, the buyer must provide instructions for his carrier and authorize him to provide the bill of lading to the seller. In this case, the seller is obliged to issue, in turn, the same bill of lading for the goods unloading organization at the destination port.

- Levels of insurance coverage in CIF / CIP rules. In the 2010 version of Incoterms, the terms CIF and CIP oblige the seller to arrange cargo insurance with a minimum insurance coverage ("CMA Insurer's Guidance on LMA / IUA Cargo Insurance or any similar reservations"). For CIF rules, the new version provides minimum coverage (C), but CIP rules now oblige the seller to obtain insurance coverage in accordance with clause A, which takes into account all risks.

- Possibility to organize transportation by own transport. Previous versions of the rules deprived buyers and sellers of the opportunity to organize the transportation of goods by their own transport. The rules of the Incoterms 2020 version allow to deliver cargoes without participation of the intermediary.

- For the first time, the Incoterms rules are published in a new "horizontal" format, which sets out ten articles within each of the rules separately for seller and

buyer, which immediately allow to see what the responsibilities of each party are in the agreement, as well as see the difference in obligations of certain articles (table 1).

Table 1

New order of articles of Incoterms 2020 rules

Obligations of the seller:		Obligations of the buyer:	
A1	General responsibilities	B1	General responsibilities
A2	Delivery	B2	Acceptance of delivery
A3	Transfer of risks	B3	Transfer of risks
A4	Transportation	B4	Transportation
A5	Insurance	B5	Insurance
A6	Delivery / transport document	B6	Delivery / transport document
A7	Cleaning for export / import	B7	Cleaning for export / import
A8	Inspection / packaging / labeling	B8	Inspection / packaging / labeling
A9	Cost allocation	B9	Cost allocation
A10	Message	B10	Message

- Replacement of the term DAT (delivery to the terminal) with DPU (delivery with unloading). The terms DAT and DAP in version Incoterms 2010 provided for very similar obligations to meet the terms of delivery, in the new version the term DAT is



excluded. Instead of "Terminal Deliveries", group D includes the term DPU (Delivered at place unloaded). To use this term, it should be noted that the seller must ensure the possibility of arranging unloading at the point of delivery, otherwise he will not fulfill its obligations under the contract.

In the trade practice of the EU member states, Incoterms are not a law but established commercial customs, which are obligatory for application in case - residents of different countries agree about it's application in the contract. And only in some countries they are defined as mandatory at the legislative level, but again - in foreign relations.

It should be noted a number of common mistakes and problems in the use of Incoterms rules when signing foreign trade agreements by Ukrainian counterparties:

1. Absence in foreign trade contracts of an indication of which version of the Incoterms rules is used, but the only presence of delivery terms. This fact may lead to misinterpretation, for example, the moment and point of risks transition, loss or damage of goods, depending on the version of Incoterms wording of the rules may differ. And such cases lead to further arbitration, monetary and time losses.

2. Incorrect choice, use and interpretation of terms in foreign trade contracts. In this case, a typical error is when there is no clearly defined place of risk transfer, loss or damage of goods from exporter to importer, because the more precisely it is specified in the supply base, the more precisely it would be defined where and when risks pass from the seller to the buyer. For example, to specification "DAP Kyiv" is not enough, in this case the seller may limit himself to the interpretation of the destination in Kyiv at his own discretion. Instead, the instruction: "DAP Kyiv, 28 Parkovo-Syretska Street, warehouse №3, Kyiv city, Ukraine, Incoterms 2020 rules" meets the requirements.

3. Usage in practice of counterparties of the unofficial version of the Incoterms rules, including the version of the Incoterms 2020 rules from dubious sources that are not legally responsible for the information provided and which may differ significantly from the original source of interpretation. Ukrainian FEA entities must order, use and refer to the official edition of the Incoterms 2020 rules in the FEA contract approved by the International Chamber of Commerce.

These problems and errors require detailing and promotion of the correct use of the terms of delivery of Incoterms 2020, research and justification of the consequences of typical errors for the parties of FEA contract. As Incoterms 2020 deal in detail with important issues related to the obligations of parties of the FEA of certain terms concerning provision of goods, payment of goods, licensing and export-import (including customs) clearance of goods, contracts of carriage and insurance, goods supply, the moment of risk transfer, cost allocation, documentary proof of goods delivery, inspection of packaging (labeling), goods inspection and other responsibilities. Correct application of Incoterms significantly facilitates the subject of foreign foreign economic activity the procedure of standard foreign trade contract signing and executing, prevents lawsuits, monetary and time losses [571].

Incoterms rules are also used to assess the customs value of goods. According to the Customs legislation, the first and main method of customs value estimating is the method that determines the value according to the transaction price. Customs duties and taxes are calculated based on the calculated invoice and customs value.

The price of the transaction under customs law is the amount actually paid by the buyer or to be paid to the seller. However, under different basic terms of delivery according to Incoterms rules, the price of goods for international delivery may or may not include various elements, such as payment for transportation, insurance of goods, customs clearance and so on.

Thus, if goods price is determined on terms basis of CPT , so it includes the cost of goods transportation from foreign country to a place in the central part of Ukraine, the customs value of goods should include only that part of the transportation price that covers the carrier's delivery costs to the boundary of Ukraine.

At the same time, when using the delivery basis EXW, the importer in calculating the customs value of goods must add to the seller's price the costs incurred to the border.

The price structure of goods according foreign trade contract will not always coincide with the price structure for goods customs value determining.

To facilitate the calculation of customs value, and, consequently, customs duties, participants of foreign economic activity should separately form the value of goods and costs incurred for its transportation, and the latter should also be divided into costs to the customs border and costs incurred within the country.

The international rules Incoterms 2020 clarify which party, in particular seller or buyer, is responsible for customs clearance and customs formalities at the border, assuming costs and risks, table 2.

Table 2

Obligations of the parties regarding customs clearance of export / import according to Incoterms 2020

№	Terms Incoterms	Responsibilities regarding customs clearance
1	EXW	all obligations both on customs clearance of export from the country of departure, and on customs clearance of import in the country of destination are assigned to the buyer.
2	FCA, FAS, FOB	export customs formalities are entrusted to the seller, and the import of goods is the responsibility of the buyer.
3	CPT, CIP, CIF, CFR	export customs formalities are entrusted to the seller, and the import of goods is the responsibility of the buyer.
4	DPU, DAP	goods import formalities are entrusted to the buyer.
5	DDP	responsibilities for payment of both export and import duties fall upon the seller.

Article A7 / B7 (“Customs Clearance of Exports / Imports”) of each Incoterms 2020 rule, where applicable, now also explicitly requires the seller to comply with any security-related export formalities and to assist the buyer in obtaining any documents

or information required to comply with customs formalities related to import or transit. Responsibilities for customs clearance of goods entrusted to the parties of the contract not only determine who will bear the costs of customs clearance. In addition to the purely financial component in the distribution of these responsibilities, there is an element of determining the moment of risks transition to ensure international supply. As a result of an untimely packaged documents or submission of an incomplete set to the customs authorities, there may be a delay in customs clearance, and, consequently, in goods delivery. Improper choice of customs procedure or incorrect application of the method of goods customs value determining during import or export can lead to the detention of goods in a temporary storage warehouse and a significant increase in delivery cost.

As a rule, when signing a foreign trade agreement, the duties of goods customs clearance process in the country of departure are assumed by the seller company, and customs formalities for imports in the country of destination are assumed by the buyer company. This is due to the fact that, as a rule, companies are more confident in the customs legislation in the country of registration. In addition, national customs legislation may explicitly prohibit a non-resident company from carrying out customs clearance.

Customs clearance is a subject to company taxation. Thus, when registering goods export, as a rule, there is a refund of VAT (value added tax), previously paid when buying goods on the domestic market. Naturally, the company registered in the country of departure has more opportunities in realization of the right to a VAT refund. The same nuances of combination of tax and customs legislation may appear when goods importing, as consequence it will also be easier to deal with them for a company registered in the country of destination.

## **12.5 The role of water transport in the development of tourism in the Northern Black Sea Region of Ukraine**

Water transport is a type of transport that carries passengers or goods along waterways: natural (oceans, seas, rivers, lakes) and artificial (canals, reservoirs) [574].

Water transport is divided into sea transport, which performs international, long-distance and coastal transportation of passengers, baggage and cargo, and domestic. According to the type of water areas used, it is subdivided into river ones, including transportation by lakes (with the exception of large lakes) and sea transport. Among water vehicles are distinguished: underwater (excursion submarines) and surface (motor ships, cruise ships, sea ferries, pleasure boats, yachts). [574, 575, 576]

Water transport is one of the oldest forms of transport and remained the most important until the advent of transcontinental railways in the second half of the 19th century.

An important step in the development of the legal framework and classification of international water transport was the 1958 Geneva Conference on the Law of the Sea, at which four conventions were adopted: on the high seas, on the territorial sea and adjacent zones, on the continental shelf and on the protection of living resources of the high seas. The third conference on international law (1982) approved the latest edition of the UN Convention on the Law of the Sea, which entered into force in November 1994.

Among the organizations that carry out regulation in the international transport and maritime sphere, one can distinguish the International Maritime Organization (IMO, founded in March 1948 in Geneva) and the International Air and Shipping Association (IASA, founded in 1971). [575]

Water transport plays a huge role in the tourism sector and is used quite actively. Water travel has both advantages and disadvantages. The most significant advantages are a high level of comfort, a large volume of one-time loading of ships, the possibility of implementing various types and purposes of tourism (educational, business tourism, educational, shopping tourism). The main disadvantages are the low speed of

movement of vehicles, high tariffs, limited mobility, and the susceptibility of some people to “seasickness”. [576]

The main type of sea and river transportation in tourism is cruises – travel in a vicious circle with radial trips from ports to the interior regions of countries.

*Sea cruise tourism* is developed in most countries of the world. There are more than 150 sea cruise companies in the world – Greek, Italian, Spanish, American, Danish and Norwegian. Since the early 1980 the number of cruise ships is also growing (Table 1).

Table 1.

Characteristics of data on the development of sea cruise tourism

<b>№</b>	<b>Year</b>	<b>Number of tourists, mln.</b>	<b>Number of sea cruise ships, pcs.</b>
1	1980 – 1885	1,5	120
2	1993 – 1994	4,5	175
3	1996	6,5	-
4	2003	9	327
5	2006	12	387

There is not only quantitative, but also qualitative growth of sea cruise traffic and ships. Cruise ships, like hotels, are rated according to a variety of criteria, after which they are assigned a certain number of stars. The following criteria are used: the vessel and its equipment, the condition of the cabins, food, service, entertainment programs and the range of additional services on board. In addition to cruises, sea trips on ocean ferries are popular.

Sea transport is distinguished by its huge capacity, mass transportation, the highest comfort, a wide range of leisure activities and a range of services. But at the same time, and very low speed and dependence on the landscape of the path, since, as a rule, it has a huge displacement. [575] (fig. 1)



Figure 1. Symphony of the Seas – Oasis class cruise ship, the largest passenger ship in the world by gross tonnage. [578]

According to their nature and range, sea passenger transportation is divided into cabotage and foreign. Coastal navigation includes communications between ports of one state; overseas navigation is a combination between the ports of a given country and other states.

The main activity of water transport is to meet the needs of people in passenger transportation, as well as the demand for recreation during a sea trip. The peculiarity of the demand for sea travel in our country is quite clearly pronounced seasonality, the seasonal period is considered May-September, and October-April – non-seasonal. [577]

Even 25 years ago it was possible to get easily, quickly and inexpensively to any point of the Black Sea; a powerful fleet of passenger hydrofoils competed successfully with trains and aircraft throughout the Northern Black Sea region.

*A hydrofoil vessel (HFV)* is a type of high-speed vessel with a dynamic support principle, which has special wings under the hull. When parked and when traveling at low speed, the hydrofoil is kept on the water due to the force of Archimedes, like an ordinary displacement vessel. At high speed, due to the lift caused by these wings, the

vessel rises above the water. Thus, water resistance is significantly reduced, which allows high speeds to be developed.

A significant increase in the speed of movement of water transport became possible with the advent of passenger hydrofoils. In a short time, hydrofoil vessels are becoming one of the most popular modes of transport. Speed, seaworthiness, high efficiency allows cruise ships to compete with other modes of transport.

The design of hydrofoils is expensive, so either very wealthy firms like Boeing or wealthy states with their own strategic or military goals can afford to develop such ships (Fig. 2).



Figure 2. “Comet 120M”, project 23 160 (2017). Vympel plant (Rybinsk, RF). [579]

In the USSR, the development of hydrofoils began even before the Great Patriotic War, and after the war, the design bureau of Rostislav Alekseev (1916 – 1980) began to operate, which still exists today.

In the Soviet Union, the first passenger hydrofoil ship, the Racket, entered into service in 1957. Since the end of the 50s, the serial production of passenger hydrofoil ships “Rocket”, “Volga” (1958), “Meteor” (1960), “Comet” (1961), “Belarus” and “Petrel” began. In the 70-80s, the ships “Sunrise”, “Polesie”, “Colchis” and “Cyclone” followed.

The Soviet Union possessed the world's largest fleet of cruise ships. More than 1000 Volga boats, hundreds of Racket motor ships, dozens of Comet, Meteor and Belarus motor ships were used in the water. Soviet winged ships were successfully



exported to many countries of the world, including the USA, England, Germany, France, Italy.

In 1961, the first marine hydrofoil ship “Comet” appeared, designed for high-speed passenger transportation (capacity – 118 people) on coastal sea lines up to 230 miles long. “Comets” were produced in 1964 – 1981 at the Feodosia shipyard “See” (a total of 86 “Comets” were built, including 34 for export) and in 1962 – 1992 at the Poti shipyard (39 “Comet”) (Fig. 3). [580]



Figure 3. “Comet” (1980). [580]

*History of Odessa sea trams and “Comets”.* Boats and sea trams running along the coast of the Odessa Gulf from Kryzhanovka to Chernomorka were one of Odessa's calling cards from the post-war times until the 1990s (Fig. 4).

The first boats sailed along the coast in the pre-war period, but the sea tram began to develop en masse after the war in the 50s in two directions: Seaport – Luzanovka and Seaport – Lanzheron – Arcadia – Big Fountain (16th station of Fontana); in the 60s and 70s, new berths were introduced in Otrada, on Dolphin, at the 10th and 13th stations of the Fontana. Later boats began to sail to Chernomorka and a separate route “Chernomorka – Ilyichevsk” was introduced, in the summer the boats went to Kryzhanovka. In winter, sea trams went only to Arkadia and Luzanovka. Since the 50s, boats of the “Diamond” (Taganrog) and “Arcadia” (SRZ-1 – Shipyard in Odessa) type

have been used; in the 70s, a massive replacement of old boats began with new ones of the “Alexander Green” type (they were built at the shipyards of Kherson and Ilyichevsk). In the 80s, pleasure catamarans “Hajbey” were added – they were used exclusively for walks in the water area of the bay. (fig. 5)



Figure 4. Sea trams in the port of Odessa (1980s). [581]

Pleasure boats and sea trams were highly appreciated by residents of Odessa and city tourists as a convenient and inexpensive way to get comfortably and quickly to the beaches – the average time between flights was 20 – 25 minutes. In addition to the vehicle, the boats performed excursion functions: walks along the port, along the bay along the coast, along the Illichivsk port from Chernomorka. Excursion routes were very popular and some still exist, although not in such numbers, unlike transport routes, which ceased to exist in the 90s. The main reason was the sharp rise in fuel prices in the early 90s and the transition to new market relations, as a result of which many

berths were closed and destroyed by storms without repair and long-term operation (berth in Luzanovka). [581]

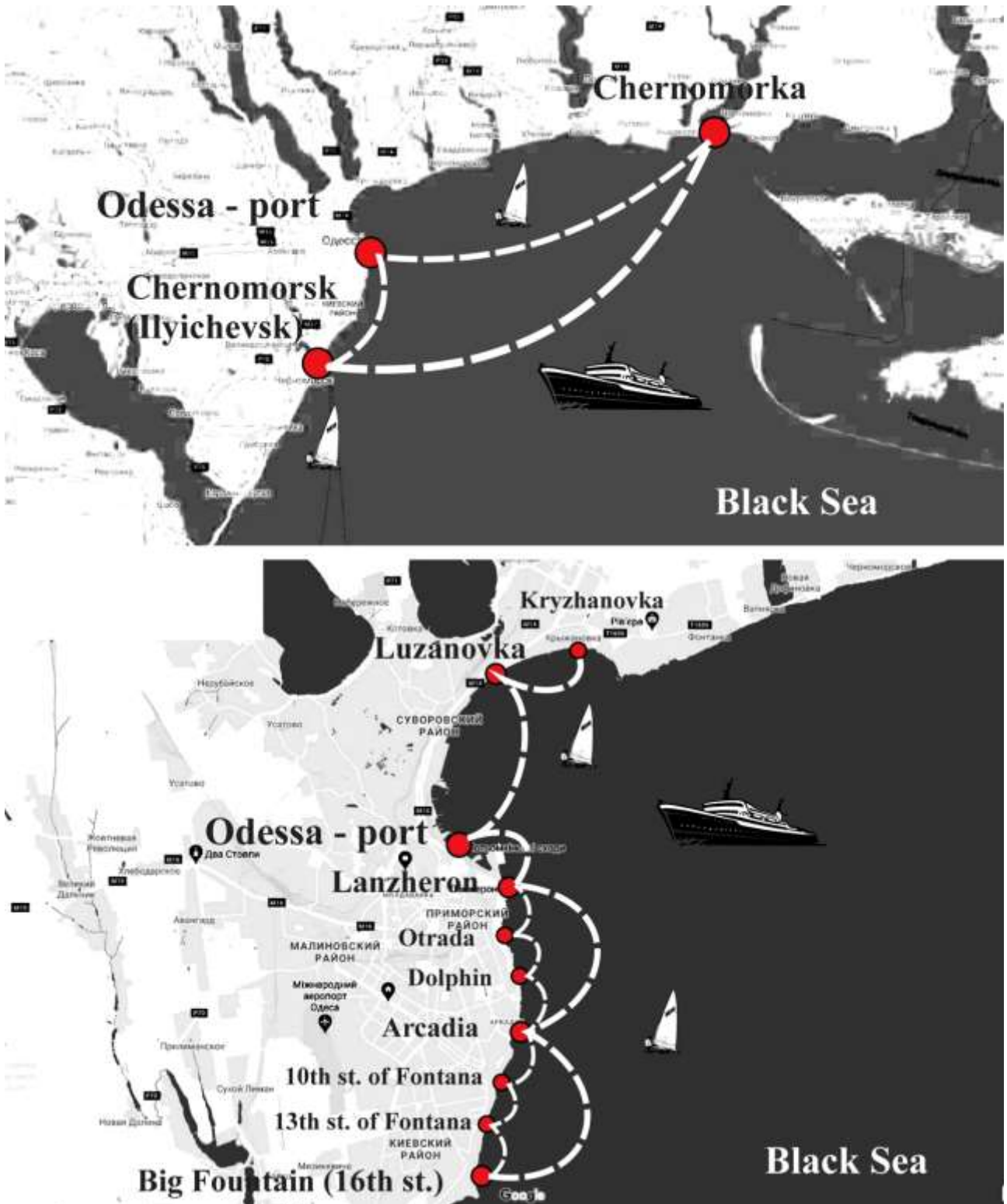


Figure 5. Routes of sea trams along the coast of the Odessa Gulf

The hydrofoils “Comet” came to Odessa in the 70s, when the Odessa-Kherson line was opened in 1974, although the first steamboat movement on the Odessa –

Ochakov – Kherson line began in 1959 by the steamers “Orion” and “Slavyansk”, Since 1962 – the motor ship “Kotovskiy” opened the movement of the passenger fleet. Since 1958, the “Sapphire” boat began passenger flights on the Ochakov – Odessa line (Fig. 6) [582]



Figure 6. Boat “Sapphire” – the arrival of the Ochakovites in Odessa (1960s). [582]

Hydrofoil ships “Comet”, and later, “Colchis” – the only mass types of Soviet marine hydrofoils, covered the distance along the Odessa – Kherson line in 2 hours 40 minutes, in contrast to road transport – 4 hours, which it was much more comfortable and faster.

By the early 80s, “Comets” and “Colchis” went from Odessa to Kherson, Kakhovka, Zaporozhye, Nikolaev. Ships departed for Kherson every three hours, in between them the ships sailing higher along the Dnieper departed.

In addition to the Dnieper direction, “Comets” from Odessa went to the Crimea – to Skadovsk, Evpatoria, Sevastopol, Yalta, Kerch, Novorossiysk and Sochi. Long-distance flights were carried out in such a way as to reach the destination before

nightfall. Also “Comets” operated flights to Izmail, where there was a home port of several ships of this type belonging to the Black Sea port. (fig. 7, 8)



Figure 7. “Comet – 6” in Izmail (1980s). [583]



Figure 8. Routes “Comets” and “Colchis” in the Black Sea

Flights “Comets” and “Colchis” from Odessa to Kherson and to Yalta via Sevastopol were carried out until the mid-90s. Moreover, the number of flights was decreasing – from several times a day to just daily, and then – only to weekly.

Of the more than 20 “Comets” that belonged to the Black Sea Shipping Company, eight had a home port of Odessa, and there were also three “Colchis”, which were written off or sold in the 90s: one “Colchis” was sold to Greece in 1998, and the two remaining in 2003 to Turkey and Vietnam. In addition to them, the Albatross was assigned to Odessa – a modernized version of Colchis built in a single copy. It was sold in 1996 to Cyprus. This is how the history of Odessa hydrofoils ended.

Sea transport and water travel play a huge role in the tourism sector all over the world, therefore their revival is an integral part in the development and modernization of the tourism sector of the Northern Black Sea region.

In the 2000s, with the stabilization of the economic situation in Ukraine and Russia, there were attempts to revive coastal passenger shipping in the Black Sea.

The first attempt was the launch of the Yalta port in 2001 of two catamarans “Crimean Arrow” and “Blue Arrow” on the line Odessa – Evpatoria – Sevastopol – Yalta – Feodosia – Novorossiysk – Tuapse – Sochi. But this version of the Crimean-Caucasian line did not last long. In the mid-2000s, the Crimean Arrow operated for some time on the Odessa-Varna line, sometimes making a call to Constanta. The last cruises of catamarans from Odessa took place in 2010. At the same time, the Odessa-Istanbul line, on which the Caledonia ferry operated, ceased to exist. In 2009-2010, Russian vessels of the Katran type sailed from Novorossiysk to Yalta. Two summer navigations showed that the route was unprofitable – passengers used high-speed ships more in mini-cruise mode than transport. [583]

Another attempt to return the sea “Comets” was in 2017, when they planned to launch a sea route from Skadovsk (Kherson region) to Odessa along the Skadovsk – Ochakov – Odessa line in the spring, for this it was necessary to equip berths in Skadovsk to receive passenger ships.

In November 2017, the first voyage of a passenger hydrofoil vessel with a “Nibulon Express-2” rocket along the Southern Bug River to Nikolaev was already completed. In summer, it was planned to provide transportation of passengers between Kiev, Kanev, Cherkassy and Chigirin, as well as between Nikolaev, Ochakov, Kherson, Iron Port, Kinburnskaya spit, Voznesensk and New Odessa. [584]

The main obstacle to the return of high-speed coastal passenger shipping to Odessa is seasonality and dependence on the weather, which makes water transport not as stable as the railway. Despite this “Rockets” and “Comets” do not have competition in speed with any bus and railway on such river and sea directions as Nikolaev, Kherson, Zaporozhye, Dnepropetrovsk, Izmail, etc. Moreover, it will serve the development of domestic tourism, especially as a result of the current global pandemic of the coronavirus infection COVID-19, which has caused the closure of the borders of many foreign countries.

## **12.6 Research and development of thermal diagnostics means of transportation equipment**

In contrast to static diagnostics based on stationary measuring instruments and techniques for troubleshooting upon the fact of a failure, it has been studied the possibility of determining malfunctions of electromechanical equipment [585] on vehicles, manifested under variable workloads. It has been considered malfunctions in traction electric drives (TED), which are a consequence of the gradual accumulation of damage, aging and wear of individual parts of the equipment [586, 587], which appear gradually under the influence of thermal, electrical, mechanical and climatic factors in the most loaded equipment of urban electric transport (UET).

To obtain initial information about possible malfunctions, remote control devices are attractive [588] for the most vulnerable places on the operated transport. Such devices are attractive for their autonomy and lack of communication lines between them and the means for analyzing the obtained data. Unfortunately, remote diagnostic devices for detecting defects in electromechanical and mechatronic equipment are always distinguished by their originality and are not mass-produced.

In the absence of serial samples of receiving elements, the synthesis of technical means for remote monitoring of various parameters is also complicated, which often hinders the practical implementation of devices for assessing the operability of power electrical equipment directly during its maintenance.

It is known that the stochastic nature of the use of traction electric drives power in electric transport causes variable heating of electric machines, which is interconnected with the variable implementation of dynamic modes of starting, braking, the intensity of passenger traffic impact, the environment and other factors.

Taking into account the peculiarities of unstable operation of electric transport, the temperature of individual equipment components will change. This value can be considered indicative, responding to malfunctions in current transfer rings, collector brushes, lack of lubrication, mechanical wear, contamination of bearings, etc. Increased heat generation, which occurs for such reasons, always leads to an increase in energy consumption with a general decrease in the efficiency of TED on a vehicle.



To find ways of remote monitoring for the state of various components of an electric motor, we took into account, for example, the peculiarities of heating it to a certain temperature, determined by the heat resistance of insulating materials. Taking into account the limitations of heating, which guarantee the standard service life of the equipment, a verification condition was adopted by comparing the permissible heating temperature which the device has during operation [589 – 591]. In this case, it is not the absolute temperature of the electric drive that is important, but the overheating  $T$ , which is the temperature difference between the motor  $t$  and the environment  $t_{env}$ , °C:

$$T = t - t_{env}. \quad (1)$$

Since the electric motor overheats, it is assumed the implementation of an admissible thermal regime, this condition can be written in the form

$$T_{per.r} < T_{op.m}, \quad (2)$$

where  $T_{per.r}$  – permissible overheating of the motor, determined by its insulation class;

$T_{op.m}$  – overheating when the engine is running.

When analyzing thermal conditions, it has been made certain assumptions: homogeneity of the materials of the electric motor, which have infinitely high thermal conductivity and the same temperature at all points of the body and parts; heat transfer to the environment is proportional to the temperature difference between the engine and the environment; the environment has an infinitely high heat capacity; the thermal capacity of the engine and its heat transfer do not depend on the temperature. In this case, the initial equation of the heat balance is the relation:

$$\Delta P \cdot dt = A \cdot T \cdot dt + C \cdot dt - V \cdot dt, \quad (3)$$

where  $T$  – temperature rise relative to ambient temperature, °C;

$\Delta P$  – total power losses in TED, W;

$A$  – heat transfer coefficient of the electric motor to the environment for 1c at a temperature difference between the engine and the environment  $1^\circ\text{C}$ , J/(s·°C);

$C$  – heat capacity of the engine for heating on  $1^\circ\text{C}$ , J/°C;

$V$  – forced cooling coefficient of the electric motor, J/(s·°C).

As a result of transformations series [591], it has been obtained an expression that is suitable for the application of the method of average losses for the control of electrical quantities convenient for processing data, for example, only in certain sections of the contact network, available for measurement in the power supplying traction substations of the UET. This fact, in turn, simplifies the task solution of monitoring loads in real time without installing special equipment on the rolling stock.

The analytically obtained indirect relationship of the parameters affecting the heating of the TED parts in real conditions was verified by experimental studies of a laboratory set of equipment. The physical model of the TED was implemented on the basis of two GMP28-NEC2838 DC motors. One electric motor performed the function of TED, and the second performed the function of loads on the shaft with variable levels set by its reversible mode of operation.

The differential heating of the electric motor was monitored using an experimental thermometer. The laboratory thermometer included a thermocouple, a generator of a unified information signal with a voltage  $U_{SA}$  in the range from 0.2 to 2V, and a low-frequency generator (LFG) [592]. LFG was used to transform the initial information according to the “temperature-frequency” (T-F) principle. The frequency of the output information signal  $S_{TF}$  of the T-F converter on the temperature T of the heated node reflected the relation:

$$S_{TF}=f(U_{SA}, T, C_i), \quad (4)$$

where  $U_{SA}$  – normalized output signal of the measuring circuit with temperature sensors  $T$ ;

$C_i$  – LFG parameters that determine the frequency of the modulator-converter T-F.

The output signal of the meter was characterized by a sufficiently high linearity, while ensuring the accuracy of discrete measurements, with an error of less than  $\pm 0,4^{\circ}C$ . The device had the ability to change the sensitivity of the input device. Since the  $S_{TF}$  signal can be transmitted at a distance without a wired communication line, the results obtained have justified the way of using the considered set for remote control of heating of TED parts using a high-frequency generator (HFG) equipped with a

balanced modulator [591]. The level of the output signal of the converter  $U_{low-f}(t)$  with the possibility of choosing the frequency of harmonic oscillations  $\omega_0$  is determined by the following relation:

$$U_{low-f}(t) = U_m \cos \omega_0 t, \quad (5)$$

Depending on the controlled temperature of the object at different values (1, ... N) of the reference frequencies  $\omega_{o1}, \omega_{o2} \dots \omega_{oN}$ , it is possible to receive a set of information messages from several converters:

$$U_{S_{TF}}(t) = 2k_{AM} U_m \cos \left[ \left( \sum_{i=1}^N S_{TF_i} \right) - \Omega \right] t. \quad (6)$$

where  $N$  – number of information low-frequency generators (LFG). B

Taking into account the advantages of the proposed device, it turned out to be possible to use several temperature sensors to control the heating of housing components, bearings, insulating structures, contacts, etc. Figure 1 shows the spectrogram of information messages from several T-F converters with tone modulation, obtained using a laboratory experimental spectrum analyzer.

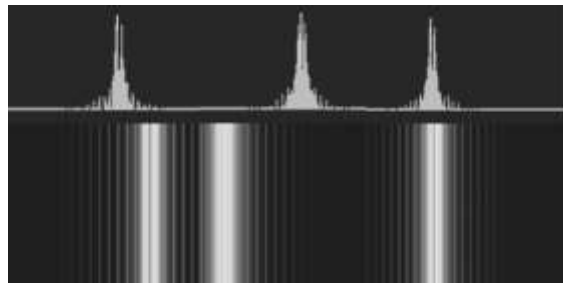


Figure 1. Experimental spectrum analysis of modulated signals from temperature-frequency converters

Figure 2 illustrates the results of remote experiments with multiple transducers.

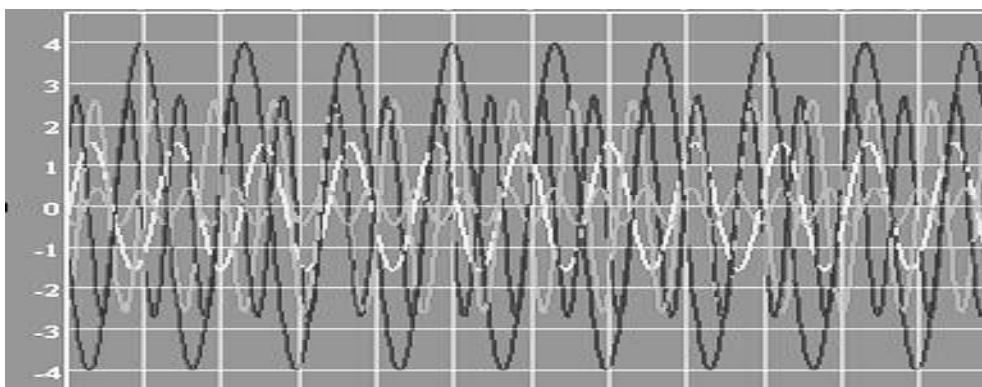


Figure 2. Oscillograms of receiving signals from several sensors "T-F"

The results of experimental control of TED heating under various operating modes are shown in Figure 3.

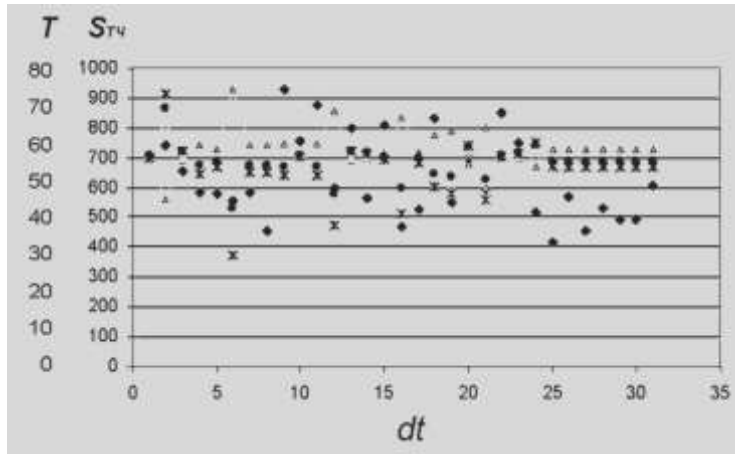


Figure 3. Average values of heating of electric motor parts with varying operating conditions:  $T$  – differential value of heating temperature,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $S_{TF}$  – frequency of the output signal of the " temperature-frequency" converter, Hz;  $dt$  – conditional operating modes.

The attractiveness of the considered measuring set in the presence of interference lies in the fact that its operability was preserved when the level of the received signal was less than  $-14\text{dB}$ , which is 5.5 times weaker than the level of real interference at the place of receiving messages [590, 591].

Using the initial data, an admissible variable zone was obtained (Fig. 4) for diagnostic control of the normalized heating of TED parts.

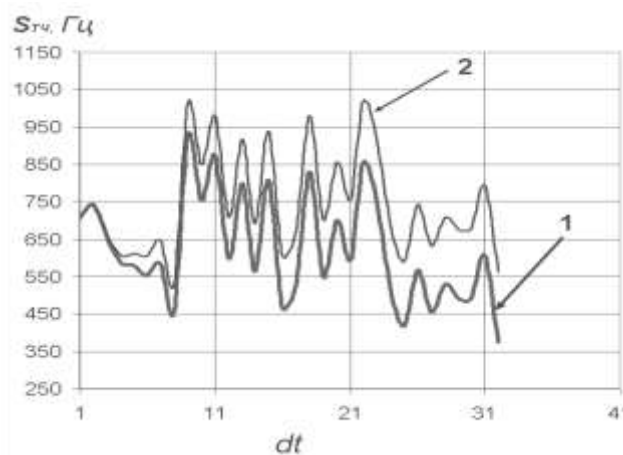


Figure 4. Variable zone of normalized TED heating:

1 - lower level; 2 - upper level

Figure 4 shows that outside the upper level of the variable zone, each event can be regarded as a potential problem. By supplementing the monitoring system with additional differential sensors for measuring the temperature gradient in the zones "housing-bearing", "housing-terminals", "housing-insulation", etc., it is possible to increase the selective properties of the device and achieve the desired reliability of identifying possible faults in parts of power electrical equipment in real time.

To assess the selective properties of the device for the analysis of normalized heating modes of TED in the *Matlab* environment using different methods, it was determined the most acceptable method of approximating experimental values. The best results (Fig. 5) were obtained using *spline* - cubic spline (1) and power polynomials (2) with the largest errors  $\pm 7.4\%$  and  $4.6\%$ , respectively.

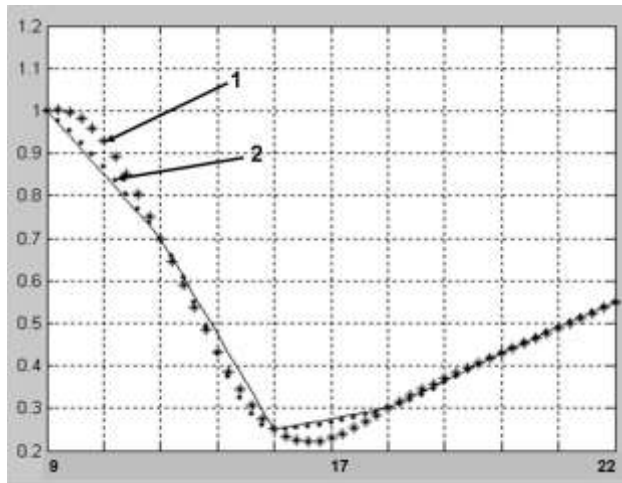


Figure 5. Results of approximation of thermal states of traction electric drives

Taking into account the satisfactory error in the approximation of stochastic thermal events, it is obvious that the 4th and 5th degree polynomials are the most suitable for approximating faults in the form

$$S_{TF}(X) = p_n X^n + p_{n-1} X^{n-1} + \dots + p_2 X^2 + p_1 X + p_0. \quad (7)$$

Using form (7), it is possible to create artificial conditions for the manifestation of various TED malfunctions that will enable to form the initial base of breakdowns library of specific power electrical equipment. An example of drawing up samples of defects is presented in table 1.

Table 1.

Variation of the calculated coefficients of the polynomial dependence when approximating the faults of the laboratory TED

Polynomial coefficients					Thermal conditions	Analyzer signal	Malfunction
P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>			
0.7459	-0.0094	0.0188	-0.0029	0.0001	norm	not	not
0.9437	0.0123	0.0237	-0.0019	0.0018	heating of the stator housing	analog	cooling systems
0.8673	-0.0742	0.0361	-0.034	0.0026	heating of the bearing housing	discrete	bearing
0.0745	-0.0003	0.0034	0.0005	0	below normal	discrete	power supply
0	0	0	0	0	not determined	discrete	transducer

The procedure for replenishing samples of possible malfunctions in the future should be carried out when improving the experimental stand and choosing the most effective methods for analyzing real thermal processes. The last property of the considered technical solution is attractive in that it is applicable for devices with artificial neural networks that need to implement the learning process, and emergency situations on a real object for obvious reasons are not possible.

## 12.7 Повышение точности и пределов измерения термопар при диагностике высокотемпературных газовых потоков

При экспериментальных исследованиях, испытаниях и эксплуатации различных теплоэнергетических устройств, в том числе двигателей всех типов транспортных средств, возникает необходимость в высокоточных (с погрешностью не более 1 %) и малоинерционных (постоянная времени не более 0,01 с) измерениях локальных температур газовых потоков в диапазоне температур 1000-2500<sup>o</sup>C с достаточными надежностью и ресурсом. Известные высокотемпературные проволочные термопреобразователи (термопары) не удовлетворяют указанным требованиям, как по уровню погрешностей, так и по термостойкости и ресурсу. Их предел измерения ограничен 1600<sup>o</sup>C для платино-родиевых термопар и 2200<sup>o</sup>C для иридий-родиевых термопар.

При измерении температуры газа в тепловых двигателях контактными методами любое измерительное средство, т. е. термопреобразователь (ТП), находится в сложном конвективно-лучисто-кондуктивном теплообмене с окружающей средой и элементами собственной конструкции. Измеренная температура  $t_{\text{ТП}}$  может на сотни градусов отличаться от искомой локальной температуры газа  $t_{\text{Г}}$ .

В настоящее время известен ряд бесконтактных методов измерения высоких температур продуктов сгорания в тепловых двигателях [593], например, пирометрический. Однако, точность измерения этих методов, особенно при измерении локальных температур газа, низкая. Это обусловлено тем, что при измерении температуры пламени по излучению происходит пространственное усреднение температуры вдоль оси визирования пирометра. Неизлучающие горячие или холодные зоны газов принципиально не могут быть измерены пирометрами излучения без специального подкрашивания газа. Кроме того, применение пирометров для постоянного контроля температуры газа дорогостоящая и технически сложная задача. Поэтому наиболее распространенными остаются контактные методы, в частности, термопары.

Среди множества контактных методов измерения температуры газа  $t_r$  практически отсутствуют методы и средства измерений, удовлетворяющие полностью перечисленным выше условиям измерений [594, 596]. Те же средства измерений, которые приближаются к этим условиям, очень сложно реализовать в ДВС технически.

Прямые измерения проволоочными термопреобразователями (ТП) не удовлетворяют приведенным выше условиям из-за низкой термической стойкости и высокого уровня методических погрешностей. Известные в настоящее время косвенные методы измерения  $t_r$  (двух и более ТП, газодинамический, калориметрический и др. [595]) либо не приводят к повышению точности до требуемого уровня [594, 596], либо находятся на стадии исследования и не могут быть использованы. В связи с этим задача повышения точности, быстродействия и предела измерений проволоочных ТП, наиболее широко применяемых в качестве штатных, является актуальной.

Более перспективными являются методы, в которых  $t_r$  восстанавливается в соответствии с математической моделью метода измерений по показаниям нескольких ТП. Это позволяет количественным образом учесть условия сложного теплообмена ТП со средой и повысить точность восстановления  $t_r$ .

В данной работе описана реализация такого подхода, осуществленная нами при разработке метода измерения температуры газов повышенной точности в тепловых двигателях транспортных средств. Особенно это касается газотурбинных двигателей ГТД, в том числе авиационных ГТД, что обусловлено высочайшими требованиями к их надежности и высокой температурой (до  $3000^{\circ}\text{C}$ ) газовых потоков в таких ГТД.

Редукционный проточный термопреобразователь (РПТ) для измерения температуры в газотурбинных двигателях был разработан коллективом авторов [597] и основывался на решении обратной задачи теплообмена при течении газа на начальном участке цилиндрического охлаждаемого канала. Практически течение газа в канале организовано за счет использования эжектора для отсоса газа.



Метод заключается в расчете температуры газа  $t_r$  на входе в интенсивно охлаждаемый канал по температурам  $t_1$  и  $t_2$  газа в двух точках  $x_1$  и  $x_2$  по длине канала (рис.1, кривая 1). Эти температуры измеряются двумя первичными термопреобразователями (термопарами) и зависят от  $t_r$  на входе в канал и условий теплообмена потока со стенками канала.

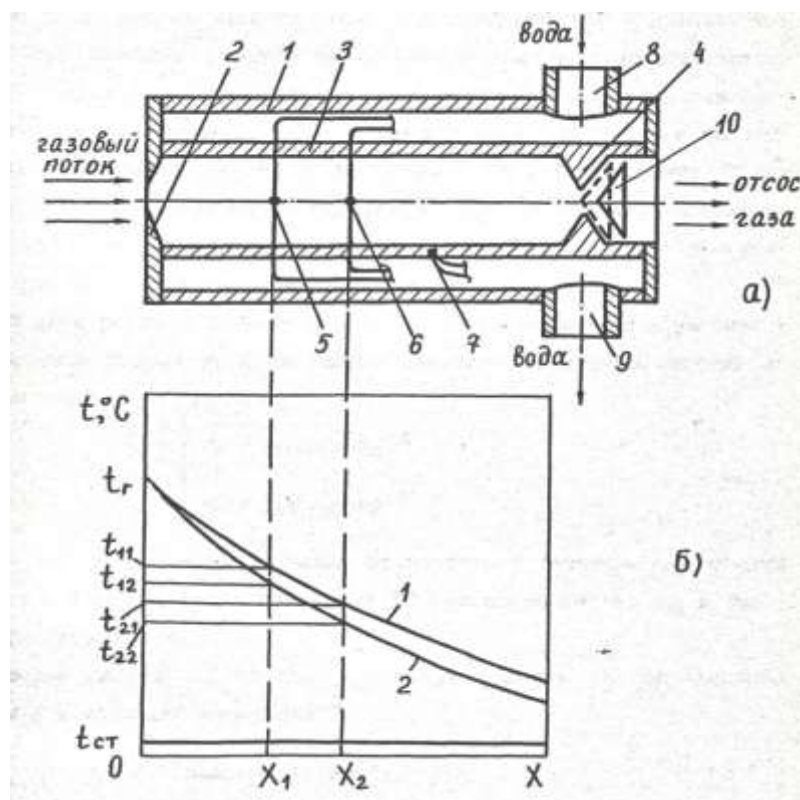


Рисунок 1. Устройство и принцип действия РПТ: 1 – охлаждаемый корпус; 2 – точка входа в измерительный канал; 3 – стенка канала; 4 – диафрагма на выходе устройства; 5 и 6 – первичные ТП; 7 – термопара в стенке канала; 8 и 9 – вход и выход охлаждающей жидкости; 10 – вариатор скорости потока в канале.

Температура газа по оси канала снижается из-за теплообмена газа с холодными стенками по известному закону течения газа в цилиндрическом канале:

$$\vartheta(x) = \vartheta_r \exp \left[ - \int_0^x St(x) dx \right], \quad (1)$$

где  $St(x) = \frac{\alpha(x)P}{\rho w C_p}$  – критерий Стантона;  $\vartheta_{\Gamma} = (t_{\Gamma} - t_{CT})$  и  $\vartheta(x) = [t(x) - t_{CT}]$  –

избыточные по отношению к температуре стенки  $t_{CT}$  температуры газа на входе в канал и по его оси соответственно;  $\alpha(x)$  – коэффициент теплоотдачи от газа к стенке;  $P$  – периметр канала;  $w$  – скорость газа;  $\rho$  и  $C_p$  – удельная теплоемкость и плотность газа.

Решая систему уравнений (1) для координат  $x_1$  и  $x_2$  установки термопар относительно  $\vartheta_{\Gamma}$ , авторы получили следующее уравнение измерения метода:

$$\vartheta_{\Gamma} = \vartheta_1 (\vartheta_1 / \vartheta_2)^A, \quad (2)$$

$$A = \left( \int_0^{x_1} St(x) dx \right) / \left( \int_{x_1}^{x_2} St(x) dx \right) \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент преобразования РПТ.

Предложенный в [593] метод не позволяет измерять температуру газа в транспортных тепловых двигателях с приемлемой точностью, т. к. особенности теплообмена в канале измерительного устройства, а, следовательно, и коэффициент  $A$  метода неизвестны.

Для того чтобы устранить данный недостаток, нами было предложено определять коэффициент преобразования  $A$  непосредственно в процессе измерения температуры газа [594]. Для этого производится незначительная, предположительно не приводящая к изменению  $A$ , вариация скорости потока в канале путем изменения площади его выходного сечения (рис.1, кривая 2). Соответствующие новой скорости потока значения температур термопреобразователей  $\vartheta_{12}$  и  $\vartheta_{22}$  измеряются. Теперь из системы двух уравнений (2) для двух значений скорости потока газа в канале могут быть найдены величины  $\vartheta_{\Gamma}$  и  $A$ .

Такой метод получил название адаптивного редуционного проточного

термопреобразователя (АРПТ). Очевидно, что предложенный в метод позволяет значительно расширить предел измерения используемых термопар. На практике для термопар платиновой группы с пределом измерений до  $1600^{\circ}\text{C}$  АРПТ расширяет его до  $2200^{\circ}\text{C}$ , а для иридий-родиевых термопар – до  $3000^{\circ}\text{C}$ .

Выше было отмечено, что вариация скорости газа в канале измерительного устройства должна быть как можно меньшей, чтобы не изменились условия теплообмена газа в канале, а, следовательно, и величина самого коэффициента  $A$ . Но тогда в формуле (3) отношение натуральных логарифмов близко к неопределенности типа  $0/0$ . Это свойство формулы (3) усугубляется шумами измерений, особенно если учитывать небольшие выборки температур из-за значительной нестационарности процессов в двигателях транспортных средств. Обработка таких выборок привычными средствами математической статистики приводит к значительным погрешностям измерения метода АРПТ.

Для описанной выше проблематики нами предложено [598] применить метод параметрической идентификации измерительного устройства, заключающийся в получении на основе экспериментальных данных оптимальных оценок вектора искомых параметров взаимодействия данного устройства с окружающей средой и входящих в его математическую модель, в том числе искомой температуры газового потока.

Высокая точность предложенного метода измерений обусловлена также учетом температуры стенки измерительного канала, что позволяет точно рассчитать поправку на лучистый теплообмен первичных термопреобразователей.

Таким образом, выполнена заявленная цель исследования: разработан метод измерения температуры газов в тепловых двигателях транспортных средств, который на 30% повышает предел измерений проволочных термопар, при этом точность измерений повышается до 1%. Реализован метод в опытных измерительных устройствах из нержавеющей стали разной величины [594].

**REFERENCES**

1. Yasir M., Ahmad F., Yusoff P.S.M.M., Ullah S., Jimenez M. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review // *Sur. Eng.* 2019. V. 36. P. 334–363.
2. Puri R. G., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress // *J. Coat. Technol. Res.* 2016. V.14. P. 1–20.
3. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review // *J. Fire Sci.* 2016. № 34(2). P. 120–163.
4. Vakhitova L., Bessarabov V., Taran N., Redko A., Anishchenko V., Zagoriy G., Popov A. Definition of the thermal and fire-protective properties of ethylene-vinylacetate copolymer nanocomposites // *East.-Eur. j. enterp. technol.* 2019. V. 6. P. 13–20.
5. Vakhitova L.N. Fire retardant nanocoating for wood protection. In: *Nanotechnology in Eco-efficient Construction.* 2019. P. 361-391.
6. Fallah F, Khorasani M, Ebrahimi M Improving the mechanical properties of waterborn enitrocellulose coating using nano-silicaparticles // *Prog. Org. Coat.* – 2017. V. 109. P. 110–116.
7. Pimenta, J.T., Goncalves C., Hiliou L., Coelho J.F.J, Magalhaes F.D. Effect of binder on performance of intumescent coatings // *J. Coat. Technol. Res.* 2016. V. 13(2). P. 227–238.
8. Vakhitova L., Drizhd V., Taran N., Kalafat K., Bessarabov V. The effect of organoclays on the fire-proof efficiency of intumescent coatings // *East.-Eur. j. enterp. technol.* 2016. №6. P. 19–24.
9. Hadi, H. K.; Irene, A. G. Hot-Rolling Nanowire Transparent Electrodes for Surface Roughness Minimization. *J. Nanoscale Research Letters.* 2014. 310,1-5.
10. Kumar, D.; Stoichkov, V.; Brousseau, E.; Smith, G. C.; Kettle, J. High Performing AgNW Transparent Conducting Electrodes With a Sheet Resistance of 2.5  $\Omega$  Sq<sup>-1</sup> Based Upon a Roll-to-Roll Compatible Post-Processing Technique. *J. The Royal Society of Chemistry Nanoscale.* 2019. 12, 1-6.

11. Hong, Y.; He, Z.; Lennhoff, N.S.; Banach, D.A.; Kanicki, J. Transparent Flexible Plastic Substrates For Organic Light-Emitting Devices. *J. Electron Mater.* 2004. 33, 312–320.
12. Liu, D. et al. An Effective Mixing For Lithium Ion Battery Slurries. *Adv. Chem. Eng. Sci.* 2014. 4, 515–528.
13. Lee, G.-W.; Ryu, J.-H.; Han, W.; Ahn, K. H.; & Oh, S. M. Effect of Slurry Preparation Process on Electrochemical Performances of LiCoO<sub>2</sub> Composite Electrode. *J. Power Sources.* 2010. 195, 6049–6054.
14. Ponrouch, A.; Palacin, M. R. On The Impact of The Slurry Mixing Procedure in The Electrochemical Performance of Composite Electrodes For Li-Ion Batteries: A Case Study For Mesocarbon Microbeads (MCMB) Graphite And Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. *J. Power Sources.* 2011. 196, 9682–9688. Shiraki, S. et al.
15. Fabrication of All-Solid-State Battery Using Epitaxial LiCoO<sub>2</sub> Thin Films. *J. Power Sources.* 2014. 267, 881–887.
16. Julien, C.; Camacho-Lopez, M. A.; Escobar-Alarcon, L.; Haro-Poniatowski, E. Fabrication of LiCoO<sub>2</sub> Thin-Film Cathodes For Rechargeable Lithium Microbatteries. *Mater. Chem. Phys.* 2001. 68, 210–216.
17. Yan, B.; Liu, J.; Song, B.; Xiao, P.; Lu, L. Li-Rich Thin Film Cathode Prepared by Pulsed Laser Deposition. *Sci. Rep.* 2013. 3, 3332-3337.
18. Kuwata, N.; Kawamura, J.; Toribami, K.; Hattori, T.; Sata, N. Thin-film lithium-ion battery with amorphous solid electrolyte fabricated by pulsed laser deposition. *Electrochem. Commun.* 2004. 6, 417–421.
19. Baggeto, L.; Unocic, R.R.; Dudney, N.J.; Veith, G.M. Fabrication And Characterization of Li-Mn-Ni-O Sputtered Thin Film High Voltage Cathodes for Li-Ion Batteries. *J. Power Sources.* 2012. 211, 108–118.
20. Cetinkaya, T.; Akbulut, A.; Guler, M.O.; Akbulut, H. A Different Method For Producing a Flexible LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/MWCNT. *J. Appl. Electrochem.* 2014. 44, 209–214.
21. Bitsch, B. et al. A Novel Slurry Concept For The Fabrication of Lithium-Ion Battery Electrodes With Beneficial Properties. *J. Power Sources.* 2014. 265, 81–90.

22. Barykov, V.; Khomenko, V. The Influence of Polymer Binders on The Performance of Cathodes for Lithium-Ion Batteries. *Sci. Proc. Riga Tech. Univ. Ser.* 2010. 1. (21), 67–71.

23. Liu, G. et al. Effects of Various Conductive Additive And Polymeric Binder Contents on The Performance of a Li-Ion Composite Cathode. *J. Electrochem. Soc.* 2008. 155, A887–A892.

24. Camargo P. H. C., Satyanarayana K. G., Wypych F. (2009) Nanocomposites: Synthesis, Structure, Properties and New Application Opportunities. *Materials Research*, Vol. 12, No. 1, 1-39.

25. Salam N., Sinha A., Roy A.S., Mondal P., Jana N.R., Manirul Islam S.K. (2014) Synthesis of silver-graphene nanocomposite and its catalytic application for the one-pot three-component coupling reaction and one-pot synthesis of 1,4-disubstituted 1,2,3-triazoles in water. *RSC Adv.*, Vol. 4, 10001-10012.

26. Singhal S. K., Lal M., Lata, Kabi S. R., Mathur R. B. (2012) Synthesis of Cu/CNTs nanocomposites for antimicrobial activity, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 3, 045011

27. Krolow M. Z., Hartwig C. A., Link G. C., Raubach C. W., Pereira J. S. F., Picoloto R. S., Gonçalves M. R. F., Carreño N. L. V., Mesko M. F. (2011) Synthesis and Characterisation of Carbon Nanocomposites. In: Avellaneda C. (eds) *NanoCarbon Carbon Nanostructures*, Vol 3, Springer, Berlin, Heidelberg.

28. Litvin V. A., Galagan R. L. (2017) Synthesis and properties of Co-carbon nanocomposites using synthetic fulvic acids, *Materials Chemistry and Physics*, 201, 207-213.

29. Litvin V. A., Minaev B. F. (2014) The size-controllable, one-step synthesis and characterization of gold nanoparticles protected by synthetic humic substances, *Materials Chemistry and Physics*, 144, 168-178.

30. Romanchenko I.S. Ecological safety: ecological condition and methods of its monitoring: textbook. / I.S. Romanchenko, AI Svitnev, SG Butenko - K., 2006. - 560p.

31. Osadcha N.M. / Analysis of water quality assessment in Ukraine and the main tasks of its adaptation to European legislation / N.M. Osadcha, B.B. Stuffed, V.M. Yatsyuk // Scientific works of UkrNDGNI. - 2013. – №2065.– P.46-52.

32. Directive 200/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October establishing a frame-work for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. – 2000. – L.327. – 72p.

33. Borisyuk S.L. Analysis of the current state of environmental monitoring in the military sphere./ S.L. Borysiuk // Collection of scientific works of Kharkiv University of the Air Force. - 2013, № 2. - P. 35 /

34. Kazmirchuk V.O. System of ecological support of the Armed Forces of Ukraine, ways and directions of its transformation into the system of ecological safety management / V.O. Kazmirchuk, B.E. Savrun, S.A. Onion. // - Military-technical collection, - 2015. - № 13. - P. 120-126.

35. Odosii L.I. Influence of technogenic loading of military activity on the state of soil-water environment / L.I. Odosiy, O.M. Stadnichuk, S.M. Swederok and others. // - Military-technical collection, –2015. - № 12. –С. 91-95.

36. Mikhaleva M.S. Electrophysical parameters of multicomponent liquids in an electromagnetic field./ Mikhaleva M.S, Stolyarchuk P.G., Badikova N.O. // - Lviv, 2016. –178p.

37. Mikhaleva M.S., Svitlyk I.V. Possibilities of using electrochemical technologies to modify properties and control water quality. Technological audit and production reserves - 2014. - № 1/4 (15) - P. 4-6.

38. Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. и др. Поверхностно-активные вещества (справочник). – Л.: Химия, 1979.-376 с., ил.

39. Плетнев М.Ю. ред. Поверхностно-активные вещества и композиции, М.: ООО «Фирма Кламель», 2002, 768 с.

40. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. - М.: Высшая школа, 1973. 208 с.

41. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. - М.: изд-во МГУ, 1982. 348 с.

42. Шахова, Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика: монография / Л.Д. Шахова. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 248 с.
43. [https://rospena.ru/stati/article\\_post/po-kakim-parametram-otsenivayetsya-stroitel'naya-pena-v-proizvodstve-penobetona](https://rospena.ru/stati/article_post/po-kakim-parametram-otsenivayetsya-stroitel'naya-pena-v-proizvodstve-penobetona)
44. <http://www.ibeton.ru/a192.php>
45. Хайдаров Г.Г., Хайдаров А.Г., Машек А.Ч. Физическая природа поверхностного натяжения жидкости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 (Физика, химия) 2011. Выпуск 1. с.3-8.
46. Chemistry and Technology of Surfactants / Edited by Richard J. Farn. — Blackwell Publishing Ltd, 2006. — 315 p. — ISBN 978-14051-2696-0.
47. Абрамзон А.А., Зайченко Л.П. и др. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение. – Л.: Химия, 1988.-200 с., ил.
48. Спринг С. Очистка поверхности металлов. - М.: Мир, 1956.
49. Козлов Ю.С., Кузнецов О.К., Тельнов А.Ф. Очистка изделий в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1982.-264 с.
50. ГОСТ 5272-68: Коррозия металлов. Термины.
51. ISO 8044:1999(en) Corrosion of metals and alloys — Basic terms and definitions
52. Schweitzer P.A., Fundamentals of corrosion – Mechanisms, Causes and Preventative Methods. Taylor and Francis Group. (2010), p. 25. ISBN 978-1-4200-6770-5.
53. Пахомов В.С. Коррозия металлов и сплавов, Справочник, Книга 1, 2013
54. Кудрявцев П.Г., Баталин Б.С., Тетенев В.В., Недугов А.Н., Коротаев И.М. Пенообразователь для теплоизоляционного бетона БГ-20. Патент РФ № 2288203, по заявке № 2005112094, от 25.04.2005.
55. Кудрявцев П.Г. Недугов А.Н., Коротаев И.М., Кайсин А.В. Пенообразователь для конструкционного бетона БГ-20Х. Заявка на патент РФ №2007107539/03 от 28.02.2005
56. Краткий справочник химика под общей ред. Некрасова Б.В., М.: Госуд. науч.–тех. издательство химической литературы. М. 1954.



57. Одабашьян Г.В., Швец В.Ф. Лабораторный практикум по химии и технологии основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1992. – 240 с.
58. ГОСТ 3900-85, Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.
59. Бейтс Р. Определение рН. Теория и практика / пер. с англ. под ред. акад. Б. П. Никольского и проф. М. М. Шульца. — 2 изд. — Л.: Химия, 1972.
60. ГОСТ 32509-2013. Межгосударственный стандарт. Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде.
61. Parker R., Morris N. Waste-Water Engineering. – CBS Publishers & Distributors, 2018. – 656 p.
62. Chernukha O., Bilushchak Y., Chuchvara A. Modelling the diffusion processes in stochastically nonhomogeneous structures. – Lviv: Rastr-7, 2016. – 262 p. [in Ukrainian]
63. Chernukha O., Bilushchak Y. Mathematical modeling of the averaged concentration field in random stratified structures with regard for jumps of an unknown function on interfaces // Journal of Mathematical Sciences. – 2018. – Vol. 225, No 1. – P. 62-74.
64. Samarskii A.A., Mikhailov A.P. Principles of mathematical modelling: Ideas, methods, examples. – CRC Press, 2001. – 360 p.
65. Chernukha O., Bilushchak Y., Pakholok B. System approach to mathematical description of transport processes with chemical reaction in multiphase multicomponent body // 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). – Proceedings (2020). – P. 144-149.
66. Honcharov V.L. Theory of interpolation and approximation of functions. – Moscow: Gos. izd. tech.-teor. lit., 1954. – 327 p. [in Russian]
67. Brezinski C., Redivo Zaglia M. Extrapolation Methods: Theory and Practice (Volume 2). – Publisher North Holland. – 1991. – 474 p.
68. Tynkevich M.A. Numerical methods of analysis. – Kemerovo: KuzGTU, 1997. – 122 p. [in Russian]

69. Milovanovic G. Numerical Methods and Approximation theory. – Yugoslavia: Faculty of Electronic Engineering, 1984. – 199 p.
70. Roland H.C. Yap Parametric Sequence Alignment with Constraints // Constraints. – 2001. – V. 6. – P. 157–172.
71. Chernukha O., Bilushchak Y. To construction of integral transformation for operator of equation of convective diffusion under mixed boundary conditions // Physico-Mathematical Modelling and Informational Technologies. – 2020. – Vol. 30. – P. 85-102. [in Ukrainian]
72. Okhrimenko M.G., Fartushnyi I.D., Kulik A.B. Incorrectly set tasks and methods of their solution. – Kyiv: Polytechnic University, 2016. – 225 p. [in Ukrainian]
73. Tikhonov A.N., Arsenin V.Y. Methods for solving ill-posed problems. - Moscow: Nauka, 1979. – 285 p. [in Russian]
74. Laurent P.J. Approximation and Optimization. – Moscow: Mir, 1975. – 496 p. [in Russian]
75. Panteleev A.V., Kudryavtseva I.A. Numerical Methods for Engineers and Economists. – Moscow: Factorial, 2017. – 416 p. [in Russian]
76.  
[https://www.techotopia.com/index.php/Creating\\_an\\_Android\\_User\\_Interface\\_in\\_Java\\_Code](https://www.techotopia.com/index.php/Creating_an_Android_User_Interface_in_Java_Code)
77. <https://medium.com/@abduazizkayumov/android-ui-xml-inflation-vs-dynamic-views-380ad5e1fae5>
78. Moscovich, T. (2007): Principles and Applications of Multi-touch Interaction, Ph.D. thesis, Brown University.
79. Hendriks, M., Kortenkamp, U., Kreis, Y., Marquès, D. (2009): D3.6: I2G Common File Format v2. Technical Report, Intergeo Project, <http://i2geo.net/files/D3.6-Common-File-Format-v2.pdf>
80. Юринець Ю. Заборона російського контенту: «Інформаційні війни» України та Росії в контексті ст. 10 ЄКПЛ. Юридична газета. 07.02.2017 р. № 6 (556). С. 22-24.

81. Iurynts J.L. Restriction of Russia information and cultural content in Ukraine: conventional measurement. Juridical Sciences and Education. Journal no. 50. Baku, 2017, I quarter. P. 286-300. (Юринець Ю.Л. Ограничение российского информационного и культурного контента в Украине: конвенционное измерение. Юридические науки и образование. Журнал № 50. Баку, 2017, 1 кв. С. 270-285).

82. Белкин Л., Юринець Ю. Борцам за «свободу слова» об ограничении российского информационного контента. Обозреватель [Электронный ресурс]. 19.05.2017. URL: <https://www.obozrevatel.com/my/life/14786-bortsam-za-svobodu-slova-ob-ogranichenii-rossijskogo-informatsionnogo-kontenta.htm>

83. Zegzhda D.P., Vasiliev Yu.S., Poltavtseva M.A. Cybersecurity of progressive production technologies in the era of digital transformation [in Russian], Cybersecurity Issues. 2018. No. 2 (26), 2-15.

84. Nonperiodical Web Document - Multimedia platform of foreign broadcasting of Ukraine, Cyberattack, Retrieved 05.23.2020 from <https://www.ukrinform.ua/tag-kiberataka>

85. Nonperiodical Web Document - The state of cybercrime in different regions of the world. Cybercrime in the world. Retrieved 05.23.2020 from <http://www.tadviser.ru/index.php/>

86. Kotenko I.V. An integrated approach to ensuring the security of cyber-physical systems based on microcontrollers [in Russian], Cybersecurity Issues. 2018. No. 3 (27). 29-36.

87. Nonperiodical Web Document - Salt River Project Hack, Retrieved 05.23.2020 from <https://www.risidata.com/Database/Detail/salt-river-project-hack>

88. Nonperiodical Web Document - The biggest cyber-attacks on critical infrastructures, Retrieved 05.23.2020 from <https://habr.com/ru/company/panda/blog/316500/>

89. Poltavtseva M.A. Features of the application of big data processing technologies in the tasks of ensuring cybersecurity [in Russian], Methods and technical means of ensuring information security. SPb .: Publishing house of the Polytechnic University, 2018. No. 27. 4-7.

90. Sukhostat L.V. Detection of attacks on cyber-physical systems based on deep learning Institute of Information Technology of ANAS, IV respublika konfransı, 2018.

91. Pavlenko E.Yu. Ensuring information security of cyber-physical systems based on the principle of homeostasis, PhD, St. Petersburg Polytechnic University - St. Petersburg, 2018.

92. Kirichenko L.O. Fractal Analysis of Real Data [in Russian], International Journal "Information Content and Processing", Volume 5, Number 2, © 2018, 142–152

93. Fridrich J. Combining low-frequency and spread spectrum watermarking // Proceedings of the SPIE Conference on Mathematics of Data/Image Coding, Compression and Encryption. 1998. Vol. 3456. P. 2–12.

94. Fridrich J. Efficient Wet Paper Codes, with M. Goljan and D. Soukal, Information Hiding. 7th International Workshop, LNCS vol. 3727, Springer-Verlag, New York, pp. 204–218, 2005.

95. J. Perturbed Quantization Steganography with Wet Paper Codes, with M. Goljan and D. Soukal, Proc. ACM Multimedia Security Workshop, Magdeburg, Germany, September 20–21, pp. 4–15, 2004.

96. Michel Misiti “Wavelets and their Applications” First published in Great Britain and the United States in 2007 by ISTE Ltd. – pp. 26.

97. Mark Nelson «The Data Compression Book 2nd edition». – Wiley, 1995. – p. 576.

98. Andreas Uhl «Lecture Notes Compression Technologies and Multimedia Data Formats». – Department of Computer Sciences University of Salzburg, 2011. – p. 120.

99. Joe Celko «Complete Guide to NoSQL: What Every SQL Professional Needs to Know about Non-Relational Databases». – Morgan Kaufmann; 1 edition, 2013. – p. 244.

100. Ayushi «Symmetric Key Cryptographic Algorithm», – International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 1 – No. 15, 2010. – p. 4.

101. Taubman, David S. «W. JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice», – Kluwer Academic Publishers, 2001. – p. 776.

102. Moser, Robin A., «A constructive proof of the Lovász local lemma», STOC'09—Proceedings of the 2009 ACM International Symposium on Theory of Computing, New York: ACM, 2009. – p. 350.

103. William A. «Digital Signal Compression: Principles and Practice», – Chapter 4 "Entropy coding techniques", 2010. – p. 76.

104. Дистанційне навчання. Основи, концепції, перспективи. (гриф надано МОН лист №1/П-10437 від 22.12.2009 р.) / Романенко І.О., Сумцов Д.В., В.В. Калачова, Сук О.П. // Навчальний посібник. Харків: НТУ“ХПІ”, 2010, 276 с.

105. Шляхи моделювання системи дистанційного навчання вищого навчального закладу в контексті реформування освітньої системи України / В.В. Калачова, Т.О. Івахненко, О.М. Носик // Системи обробки інформації. – Х. ХУПС, 2012. – Вип. 3(101). – С. 258-260.

106. Інтелектуальні підсистеми тестування знань для дистанційного навчання військових фахівців / В.В. Калачова, М.М. Колмиков //Новітні технології – для захисту повітряного простору / Восьма наукова конференція ХУПС 13-14 квітня 2012 р. Тези доповідей – Харків: ХУПС, 2012. – С. 132-133.

107. Імовірно-інформаційний підхід на шляху вирішення задачі оцінювання рівня бойової виучки органів управління ЗС України / І.О. Романенко, С.В. Дуденко, О.П. Бабенко, В.В. Калачова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(34). – С. 36-39.

108. Шляхи реалізації інформаційної технології оцінювання бойової виучки органів військового управління ЗСУ / І.В. Рубан, С.С.Ткачук, В.В. Калачова, А.М. Носик, А.М. Ткачов // Наука і техніка ПСЗСУ. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 4(13). – С. 14-17.

109. Методика інтегральної оцінки ступеня атестованості та структурний алгоритм тестування програмного забезпечення / К.С. Смеляков, С.В. Алексеев, І.О. Романенко, О.П. Бабенко, І.В. Рубан, В.В. Калачова // Збірник наукових праць ХУПС. – Х. ХУПС, 2013. - Вип. 2(35). – С.120-126.

110. Теоретико-інформаційна модель автоматизованої системи оцінювання бойової виучки органів військового управління ЗСУ / І.В. Рубан, С.С.Ткачук, В.В. Калачова // Наука і техніка ПСЗСУ. – Х. ХУПС, 2013. – Вип. 3(12). – С. 22-26.

111. Оволодіння навичками роботи з програмним комплексом «Каскад» – як шлях до оптимізації роботи ВВНЗ та євроінтеграції вищої освіти України / Калачова В.В., Місюра О.М., Третяк В.Ф., Кужель І.Є., Трублін О.А., Шигімага Н.В., Шкурупій С.С. // Навчально-методичний збірник ХНУПС. – Х. ХНУПС, 2018. – Вип. 1(147). – С. 38-47.

112. Аналіз особливостей розробки, експлуатації та подальшого розвитку комплексу програм автоматизованої системи конструювання навчального розкладу «Каскад» / О.М. Місюра, М.Ф. Пічугін, С.В. Алексеев, В.В. Калачова, О.А. Трублін // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2017. – Вип. 4(150). – С. 193-198.

113. Особливості розробки дизайну інтерфейсу комплексу програм автоматизованої системи конструювання розкладу занять в Харківському національному університеті Повітряних Сил "Каскад" / М.Г. Тищенко, О.М. Місюра, В.Ф. Третяк, В.В. Калачова, О.А. Трублін // Збірник наукових праць ХНУПС. – Х. ХНУПС, 2018. - Вип. 3(57). – С. 144-151.

114. Automation of the Educational Process in Ukraine Higher Military Education Institutions / Калачова В.В., Місюра О.М., Крижанівський І.М. та ін. // Третя міжнародна науково - технічна конференція "Комп'ютерні та інформаційні системи і технології" (Х.:ХНУРЕ), 23-24 квітня 2019 року ,Харків – Рига – Київ – Львів – Баку, 2019. – С. 58-60.

115. Комплекс програм автоматизованої системи конструювання розкладу занять «Каскад» / Калачова В.В., Дзевєрін І.Г., Крук Б.М., Закіров З.З., Третяк Д.В. // International Scientific and Practical Conference SCIENTIFIC COMMUNITY: INTERDISCIPLINARY RESEARCH, SEPTEMBER 26 – 28, 2020 in Hambur, German, 2020. – pp.75-82.

116. Homepage <https://uk.wikipedia.org/wiki> // [uk.wikipedia.org.](https://uk.wikipedia.org/) – 2016. –: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D>

0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0\_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0.

117. Volodymyr Kucheruk, Mykhailo Hlushko.: Виявлення 4XX та 5XX помилок на сайті як впливний фактор на результат точності рекомендаційних систем // CONFERENCE <https://conferences.vntu.edu.ua> – 2019. – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2019>

118. Volodymyr Kucheruk, Mykhailo Hlushko. Покращення алгоритму "item to item" методу колаборативної фільтрації для розробки рекомендаційних систем на основі косинусної міри шляхом оцінки релевантності // ScienceRise. - 2018. - № 1. - С. 20-24.: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/textc\\_2018\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/textc_2018_1_6)

119. Volodymyr Kucheruk, Mykhailo Hlushko, Sci-conf.com, <https://sci-conf.com.ua/ii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-actual-trends-of-modern-scientific-research-16-18-avgusta-2020-goda-myunhen-germaniya-arhiv/>, last accessed 2020/08/11.

120. Chang J., Lin C.-C. A study of storage tank accidents // Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006, Vol. 19, pp.51-59.

121. Wang Z., Zhao Y. Form of circumferential weld-induced imperfections for tapered-wall cylindrical shell structures // The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering, 2013, Vol. 6, Issue 2, pp. 87-95.

122. Lukianchenko O.O., Kostina O.V., Bouraou N.I., Kuz'ko O.V. Investigation of Static and Dynamic Characteristics of Complex Thin-Walled Shell Structure with Cracks // Strength of Materials, 2016, Vol. 48, №3, pp. 401-410.

123. Bouraou N.I., Lukianchenko O.O., Tsybulnik, S.A., Shevchuk, D.V. Vibration Condition Monitoring of the Vertical Steel Tanks // Vibrations in Physical Systems, 2016, Vol. 27, pp. 53-60.

124. Lukianchenko O.O., Bouraou N.I., Kostina O.V., Gerashchenko O.V. Modal analysis of the protective shell of the tank taking into account the sequential occurrence of defects in the welded seams of the wall // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific and technical collected articles (in ukr), Kyiv.: KNUBA, 2019, Issue 102, pp. 159-170.

125. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite element method: Its basis and Fundamentals. 7th Editon. – 2013. – 759 p.
126. Sham Tickoo NX Nastran 9.0 for Designers. USA: CADSIM Technologies, 2019, 441 p.
127. Rashkevych Y. Optimization search process in database of learning system IEEE International Workshop on Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and application /Y.Rashkevych, D.Peleshko, M.Pasyeka // 8-10 September, 2003, Lviv, Ukraine pp. 358-361
128. Pasyeka, M. Mathematical model of adaptive knowledge testing perspektive technologies and metods in mems design, MEMSTECH 2009 / M.Pasyeka, T.Sviridova, I. Kozak // 22-24 April 2009 Lviv, Ukraine, pp. 96-97
129. Pasyeka M.S. Adaptive model evaluation test tasks of universities, as an element of improving the quality of education “Computer Science & Information Technologies” (CSIT’2014) / M.S. Pasyeka, N.M. Pasyeka, V.M. Yurchyshyn, O.F. Kozak, V.V. Bandura // 18-22 november 2014, Lviv, Ukraine pp. 122-126
130. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Канесса, К. Фонда, М. Зеннаро. Международный центр теоретической физики Абдус Салам. 2013. 191 с.
131. Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
132. История и технологии трехмерной печати / Н.В. Кушнир, А.В. Кушнир, А.М. Геращенко, А.В. Тыртышный // Научные труды КубГТУ. Краснодар: №5. 2015.
133. Применение 3D-принтеров в машиностроении. URL: <http://www.printcad.ru/primeneniya-3d-printerov/mashinostroenie.html>.
134. Barnatt C. 3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. 306 p.
135. Hausman K. 3D-Printing For Dummies / For Dummies. 2014. 384 p.



136. Larson H. Fabricated: The New World of 3D-Printing / H. Larson, M. Kurman – Wiley. 2013. 280 p.
137. Коломійцев, О., Третяк, В., Нікора, І., Кривчун, В., Козирев, В., Кодацький, М., & Чорненький, О. (2021). Технологія підвищення безпеки передачі даних з використанням стеганографічного підходу. *InterConf*, (46), 435-447. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2021.038>
138. Смит С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников; пер. с англ. А.Ю. Линовича, С.В. Витязева, И.С. Гусинского. Москва: Додэка XXI, 2012. 720 с
139. Русин Б.П., Варецький Я.Ю. Біометрична аутентифікація та криптографічний захист. Львів: Коло, 2010. 287 с.
140. Ахрамович В. М. Ідентифікація й аутентифікація, керування доступом // *Сучас. захист інформації*. 2016. №4. С. 47-51.
141. Гнідець Т. Я. Біометрія: сильні та слабкі сторони // *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ*. 2014. №2. С. 273–282.
142. Сачанюк-Кавецька Н.В., Кожем'яко В.П. Елементи око-процесорної обробки зображень у логіко-часовому середовищі. Монографія. Універсум-Вінниця, 2004. 135 с.
143. Сачанюк-Кавецька Н.В. Визначення чутливості ідентифікаційної функції до зміни вхідних характеристик обробки зображень для розпізнавання суб'єктів у системах захисту інформації. Реєстрація, зберігання і оброб. даних. 2017. Т. 19. № 1. С. 55–64.
144. N. Sachaniuk-Kavets'ka, V. Kozhemiako, W. Wojcik, D. Kassymkhanova, A. Kalizhnova The use polynomials as a possible variant analytical processing on logic-time functions// *Optical Fibers and Their Applications 2015 Proceedings of SPIE*. Volume 9816. Lublin, Poland, 98161S-1 to 98161S-2.
145. История версий Java SE. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/История\\_версий\\_Java\\_SE](https://ru.wikipedia.org/wiki/История_версий_Java_SE)
146. Элементы функционального программирования в Java. Ходякова Г.В., Ходякова Н.В. Материалы XIV Международной научно-практической

конференции “Multidisciplinary research”, Бильбао, Испания. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://isg-konf.com/uk/multidisciplinary-research-ua/>

147. A Guide to Java Streams in Java 8: In-Depth Tutorial With Examples. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://stackify.com/streams-guide-java-8/>

148. The Java 8 Stream API Tutorial. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.baeldung.com/java-8-streams>

149. Ключевые моменты выпуска Java 8. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://www.java.com/ru/download/help/release\\_changes.html](https://www.java.com/ru/download/help/release_changes.html)

150. 39 новых фиш, которые будут доступны в Java 12. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://habr.com/ru/post/446590/>

151. Что нового в Java 15? [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://habr.com/ru/post/518794/>

152. Соловьёв А. Л. Методические указания по расчету уставок защит синхронных и асинхронных электродвигателей 6 – 10 кВ. ДИВГ-046-2017.

153. Патент України на корисну модель №101925. Спосіб захисту трифазного електродвигуна від струмових перевантажень. Лебедев Л.М., Дубовик В.Г., Ващенко М.А. МПК H02H 7/08. Бюлетень "Промислова власність", №19, 2015 р.

154. Патент України на корисну модель №116392. Спосіб захисту електродвигуна з використанням векторів моніторингу. Лебедев Л.Н., Дубовик В.Г., Демчик Я.М., Докшина С. Ю. МПК H02H 7/08. Бюлетень "Промислова власність", №10, 2017 р.

155. Патент України на корисну модель №117169. Спосіб захисту електродвигуна з використанням двовимірних векторів моніторингу. Лебедев Л.Н., Дубовик В.Г., Демчик Я.М., Тарасюк А.П. МПК H02H 7/08. Бюлетень "Промислова власність", №12, 2017 р.

156. Патент України на корисну модель №117170. Спосіб захисту електродвигуна з використанням тривимірних векторів моніторингу. Лебедев

Л.Н., Дубовик В.Г., Демчик Я.М., Гуров Г.В.. МПК H02H 7/08. Бюлетень "Промислова власність", №12, 2017 р.

157. Lukash S.I. Problems of diagnosing certain diseases in exhaled air // Computer tools, networks and systems. 2010, No. 9. pp. 62-71.

158. Diagnostic methods of Helicobacter pylori: a training manual / I.G. Akopyan, N.V. Baryshnikova, T.M. Grigoryan, Yu.S. Evstratova, A.V. Kozlov, I.Yu. Melnikova, etc. ed. Kozlova V.P. - St. Petersburg: "Publishing House Dialect, 2008. - 88 p.

159. Khomeriki S.G., Kasyanenko V.I. Laboratory diagnosis of Helicobacter pylori infection. - St. Petersburg: LLC AMA, 2011, - 110 p.

160. Semenova N.V., Shubina N.A. Resistance to treatment of Helicobacter Pylori infection. New possibilities for solving the problem using the mass spectrometric method // Biomedical Chemistry, 2005, v.51, No. 6, pp. 679-687.

161. Baryshnikova N.V. Actual problems of the diagnosis of Helicobacter pylori / Therapeutic gastroenterology. No. 2, 2009. pp. 50-56.

162. Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities//Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147167

163. Oleksandr V. Osadchuk, Volodymyr S. Osadchuk, Iaroslav O. Osadchuk, Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104451X (August 7, 2017); doi:10.1117/12.2280892

164. Novitsky P.V., Knoring V.G., Gutnikov V.S. Digital instruments with frequency sensors. –Leningrad: Energy, 1970. - 424 p.

165. V.S. Osadchuk, A.V. Osadchuk, and Y.A. Yushchenko, "Radiomeasuring thermal flowmeter of gas on the basis of transistor structure with negative resistance," Elektronika ir Elektrotechnika, – Kaunas: Technologija. vol. 84, № 4, pp. 89-93, 2008.

166. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.O. By inflating the gas-reactive effect of the first primary sensors to the gas at the higher frequency of the auto-

oscillating overvoltage // General notes of the Tavia National University. V.I. Vernadsky. Seriya: Technical sciences. Volume 30 (69). No. 3. Chastina 2., 2019. - pp. 223-227.

167. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I. O. A mathematical model of a gas-reactive effect in gas sensors // News of the Khmel'nitsky National University. Seriya: Technical sciences. Khmel'nitsky, 2019, No. 2 (271). –pp. 160-166. DOI 10.31891 / 2307-5732-2019-271-2-160-166

168. Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. The microelectronic transducers of pressure with the frequency // Elektronika ir Elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2012. – №5(121). –pp.105-108.

169. A.V.Osadchuk, N.I. Osadchuk, I.A. Osadchuk, O.O. Seletska, O.V. Kobylianskyi, P.Komada, Y.Amirgaliyev. The mathematical model of frequency gas transducer based on transistor structure with NDR for diagnosis of helicobacter pylori strains // Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 111762T (6 November 2019); –P.1-8 <https://doi.org/10.1117/12.2536850>

170. Chernyshova T.I. Modeling of electronic circuits / T. I. Chernyshova, N. G. Chernyshov. - Tambov: TSTU, 2010. - 80 p.

171. Maple User Manual. Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc. 2014 .-- 354 p.

172. La-Sall J. Investigation of stability by the direct Lyapunov method / J. La-Sall, S. Levshets - M.: Mir, 1994. - 168 p.

173. Осадчук О.В., Осадчук Н.І., Осадчук Я.О. Частотний перетворювач газу на основі транзисторної структури з NDR для діагностики штамів бактерії *Helicobacter Pylori* // Вісник університету "Україна". Серія: "Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика", №1(22) 2019. –С.68-79.

174. Осадчук О.В., Осадчук Н.І., Осадчук Я.О. Оптико-частотний перетворювач газу для діагностики штамів бактерії *Helicobacter Pylori* // Матеріали Міжнародної НПК "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання", 20-25 травня 2019. Івано-Франківськ. –С.90-96.

175. Тарасевич Б.Н., ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. МГУ имени М.В.Ломоносова, химический факультет, кафедра органической химии. –Москва, 2012. – 55 с.

176. Суэмацу Я., Катаока С., Кисино К. и др. Основы оптоэлектроники. – Москва: Мир, 1988. –288 с.

177. A.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.A. Osadchuk, O.O. Seletska, P. Kisała, K.Nurseitova. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors // Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 111761I (6 November 2019); –P.1-12. <https://doi.org/10.1117/12.2538264>

178. Панишко Ю.М. До історії розвитку вчення про “золотий переріз” / Ю.М. Панишко, А.Л. Васильчук. В.В. Джунь // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/bitstream/34606048/12308/1/Панишко%20Ю.%20До%20історії....pdf>.

179. Бужин А.А. Инженерная и компьютерная графика – задачи на построение: хорды окружности в делении отрезка на три равные части / А.А. Бужин //: Nizi.co.il [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nizinev.co.il/nauka/tochnye-nauki/inzhenernaya-i-kompyuternaya-grafika-zadachi-na-postroenie-xordy-okruzhnosti-v-delenii-otrezka-na-tri-ravnye-chasti.html>

180. Statystyka spozyvannia snekiv – Rezhym dostupu:revolution.allbest.ru /marketing/00379506 3.

181. Stan ta tendentsi rozvytku ukrainskoho rynku snekovykh vyrobiv – Rezhym dostupu:[https://studwood.ru/827522/marketing/stan\\_tendentsiyi\\_rozvitku\\_ukrayinskogo\\_rinku\\_snekovih\\_virobiv](https://studwood.ru/827522/marketing/stan_tendentsiyi_rozvitku_ukrayinskogo_rinku_snekovih_virobiv)

182. Abramova L. S. Puti ratsionalnogo ispolzovaniya syirevyih resursov rybnogo hozyaystva stranyi. Pischevaya promyishlennost. 2004. №3. S. 6-10.

183. Rybne gospodarstvo. Arkhiv. Derzhavnyi komitet statystyky Ukrainy. URL :<http://www.ukrstat.gov.ua>

184. Samofatova V. A., Faliuta H. I. Analiz perspektyv rozvytku rybopererobnoi haluzi Ukrainy. Ekonomika kharchovoi promyslovosti. 2014. № 3. S. 50—52.

185. Menchynska A. A., Lebska T. K. Yak podolaty kryzu v rybni haluzi Ukrainy. Prodovolcha industriia APK. 2017. № 5. S. 6–9.
186. Zolotkopova S. V., Palagina I. A., Balashova E. P. Teoreticheskie predstavleniya o himicheskikh prevrascheniyah lipidov. Izvestiya vuzov. Pischevaya tehnologiya. 2006. № 1. S. 21—22.
187. Rzhavskaya F. M. Zhiryi ryib i morskikh mlekopitayuschih: monografiya. M.: Pischevaya promyishlennost, 1976. 470 s.
188. Baydalinova L. S., Yarzhombek A. A. Biohimiya syirya vodnogo proishozhdeniya. M.: Morkniga, 2012. 506 s.
189. Biotehnologiya moreproduktov / L. S. Baydalinova i dr. M. : Mir, 2006. 560 s.
190. Tehnologiya produktov iz gidrobiontov / Artyuhova S. A. i dr.; pod red. T.M. Safronovoy i V.V. Shenderyuka. M. : Kolos, 2001. 496 s.
191. Bruhman E.E. Prikladnaya biohimiya: perevod s nemetskogo / predisl. chl. – korr. AN SSSR prof. V.L. Kretovicha. M.: Legkaya i pischevaya promyishlennost, 1981. 296 s.
192. Dzh. Rid. Fermentyi pischevoy promyishlennosti. Moskva, 1971. s. 147 – 163.
193. Pleshkov B.P. Praktikum po biohimii rasteniy. Izd. 2-e, dop. P 38 i pererab. M., «Kolos»,1976.
194. Sposob polucheniya fosfolipazyi D: a. s. 986923 A SSSR, MKI S 12 N 15/00. № 3328382/28-13; zayavl. 29.07.81; opubl. 07.01.83, Byul. №1.
195. Lipaznaya aktivnost nekotoryih drozhzhey: a. s. 1454852 A SSSR, MKI S 12 N 9/20. № 4280036/31-13; zayavl. 19.05.87; opubl. 30.01.89, Byul. №4.
196. Shtamm griba Rhizopus microsporus – produtsent lipazyi: a. s. 1581742 A SSSR, MKI S 12 N 1/14. № 4993263/31-13; zayavl. 16.03.88; opubl. 30.07.90, Byul. №28.
197. GOST 7636–85. Ryiba, morskije mlekopitayuschie, morskije bespozvonochnyie i produkty ih pererabotki. Metodyi analiza. [Vveden 1986–01–01]. M.: Izd–vo standartov, 1985. 75 s

198. GOST 33803-2016 Ryiba presnovodnaya susheno-vyalenaya. Tehnicheskie usloviya. [Vveden 2018–01–01]. M.: Standartinform, 2016. 12 s.
199. GOST 34191-2017. Ryiba melkaya vyalenaya. Tehnicheskie usloviya. [Vveden 2010–01–01]. M.: Standartinform, 2017. 12 s.
200. Safronova T. M. Spravochnik degustatora rybyi i ryibnoy produktsii: spravochnik. M.: VNIRO, 1998. 244 s.
201. Кишенько, І. І. Стартові культури для виробництва сирокочених ковбас / Кишенько І. І., Топчій О. А., Крижова Ю. П., Рибачук О. І. // Харчова наука і технологія. № 3 (28). 2014. С. 23-27.
202. Ігор, Страшинський Інтенсифікація технологічних процесів виготовлення сирокочених ковбас / Ігор, Страшинський, Василь Пасічний, Олександр Ромазан, Тетяна Шевченко // 86 International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution", April 2–3, 2020. Book of abstract. Part 1. NUFT, Kyiv. С. - 263
203. Milicevic B. Microbiota of the fermented sausages: influence to product quality and safety. / B. Milicevic, B. Danilovic, N. Zdolec, L. Kozachinski, V. Dobranic, D. Savic // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2014. - 20 (№5). – P. 1061-1078.
204. Pisacane, V. Microbial analyses of traditional Italian salami reveal microorganisms transfer from the natural casing to the meat matrix. / V. Pisacane, M.L. Callegari, E. Puglisi, G. Dallolio, A. Rebecchi // Int J Food Microbiol. - 2015. - v. 17, 207. – P. 57-65. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.029. Epub 2015 Apr 24.
205. Ratsimba, A. Staphylococcal ecosystem of kitoza, a traditional malagasy meat product / A. Ratsimba, S. Leroy, J.P. Chacornac, D. Rakoto, E. Arnaud, V. Jeannoda, R. Talon. // Int J Food Microbiol. – 2017. – 246, № 4. – P.20-24.
206. Sidira, M. Effective survival of immobilized Lactobacillus casei during ripening and heat treatment of probiotic dry-fermented sausages and investigation of the microbial dynamics / M. Sidira, A. Karapetsas, A. Galanis, M. Kanellaki, Y. Kourkoutas. // Meat Sci. – 2014. – 96, № 2( Pt A). – P. 948-955.

207. Wolupeck, H.L. Methods for the evaluation of antibiotic resistance in *Lactobacillus* isolated from fermented sausages / H L. Wolupeck, C.A. Morete, O.R. DallaSanta, F.B. Luciano, H.M.F. Madeira, R.E.F. de Macedo // *Cienc. Rural.* – 2017. – vol.47, №8. – P. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160966>.

208. Zdolec, N. Microbial and physicochemical succession in fermented sausages produced with bacteriocinogenic culture of *Lactobacillus sakei* and semipurified bacteriocin mesenterocin Y / N. Zdolec, M. Hadziosmanovic, L.Kozacinski, Z. Cvrtila, I. Filipovic, M. Skrivanko, K. Leskovar // *Meat Science.* – 2008. – 80. – P. 480-487

209. Концепція Загальнодержавної програми «Здоров'я-2020: Український вимір»: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31.10.2011 р. №1164-р. – URL: [http://www.moz.gov.ua/ua/portal/Pro\\_2012030316\\_1.html](http://www.moz.gov.ua/ua/portal/Pro_2012030316_1.html)

210. Мазаракі А.А., Пересічний М.І. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія / М.І. Пересічний та ін. – К.: КНТЕУ, 2007. – 567с.

211. Тутельян В. А, Разумов А. Н., Вялков А. И. Научные основы здорового питания. - Панорама, 2010.- 815с.

212. Соус [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>

213. Жукевич О. Виробництво та споживання соусів України / О. Жукевич, Г. Рудавська // *Товари і ринки.* – 2012. – №1 – С. 37-45.

214. Губська О. Г. Целиакія. Про проблеми діагностики і лікування цієї хвороби в Україні *Харчова та переробна промисловість.* 2008. №7. С.24.

215. Амарант – культура XXI века. Чиркова Т.В. *Соросовский образовательный журнал.* 1999, №10. Рус..

216. Янюк Т.І., Гулак О.В., Поліщук Г.Є., Калініна Г.П. Амарантове борошно – перспективна харчова добавка у виробництві морозива // *Продукти & ингредиенты,* 2007. - № 6. - С. 21-22

217. Amaranth flour - a promising food supplement. [Electronic resource]. - Access mode: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4497/1/amar.pdf>



218. Магомедов И.М. Амарант – прошлое, настоящее и будущее / И. М. Магомедов, Т. В. Чиркова // Успехи современного естествознания. – 2015. - №1-7. – с. 1108-1113.

219. Красина И. Б. Использование продуктов переработки семян амаранта при производстве помадных конфет / И. Б. Красина, Ю. Ф. Росляков, Н. А. Шмалько // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006.- №2-3. – С. 62-64.

220. Мельник С.И., Никульшин В.Р., Денисова А.Е. Потенциалы энергосбережения в энерготехнологических системах производства сахара. Праці VII Міжнарод. конф. «Муніципальна енергетика: Проблеми, рішення». Миколаїв. 21-22 грудня 2017. – С. 31-33.

221. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я населення. Проблемы старения и долголетия. 2016. Т. 25, №2. С. 204-214.

222. Jones P. J.; Jew S. Functional food development: concept to reality. Trends in Food Science & Technology. 2007. №18(7). P. 387-390.

223. Стеценко Н. О. Функціональні харчові продукти у забезпеченні здоров'я людини. Die Relevanz und die Neuheit der modernen wissenschaftlichen Studien : der Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΟΓΟΣ» zu den Materialien der internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz. Wien, 23 August, 2019. Wien : NGO «Europäische Wissenschaftsplattform». 2019. В. 3. S. 56-59.

224. Сімахіна Г.О., Стеценко Н.О., Науменко Р.Ю. Наукове обґрунтування вибору нутрієнтів, адекватних потребам людини. Proceedings of XXXVII International scientific conference «Scientific look at the present». Morrisville: Lulu Press., 2018. P. 9-12.

225. Дмитриченко М. И., Кондратьев С. В., Одокиенко С. С. История выращивания и товароведная характеристика цитрусовых. Техно-технологические проблемы сервиса. 2012. №2. С. 74-79.

226. Оболенский Н.В. Архитектура и Солнце. – М.:Стройиздат. –1988. –207 с.: ил.

227. Скриль І.Н., Скриль С.І. Основи архітектурної світлології (розрахунок і проектування природного, штучного й суміщеного освітлення та інсоляції): Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 2006. – 214 с.: іл.

228. Державні Будівельні Норми України. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». (Чинні з 28.02.2019 р.).

229. Свод правил СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7.11.2016 г. N 777/пр). Daylighting and artificial lighting.

230. Василенко О.Б. До історії про біокліматичні концепції будівель // Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті: Зб. наук. праць / Під заг. ред. Н.Є. Трегуб. – Харків: ХХІІІ, вип. №2-3 / 1999. – С. 149-151.

231. Розенфельд М.І. Техностиль в архітектурному формоутворенні і дизайні (друга половина ХІХ – ХХ ст.): Автореф. дис. канд. архітектури: 18.00.01 / Харківський державний технічний університет будівництва та архітектурири. – Х., 2003. –20 с.

232. Коваль Л.М. Принципи формування дизайну предметно-просторового середовища засобами LED-технологій: автореф. дис. ... канд. мистецтвознавства: 17.00.07/ Коваль Лідія Михайлівна; Харківська державна академія дизайну і мистецтва –Х., 2012.–20 с.

233. История средних веков. В 2 т. Т. 1: История Западной Европы, Византии, Арабского Востока, V-XVI вв. Учебник. – М.: Изд. полит. лит-ры. – 1941. – 504 с.

234. Советский энциклопедический словарь. – М.: Сов. энцикл., – 1982. – 1600 с.

235. Археология СССР. Степи Евразии в эпоху средневековья. – М.: Наука, – 1981. -301 с.

236. Всеобщая история архитектуры. В 12 т. Т. 4: Архитектура Западной Европы. Средние века. – Л. – М.: Изд. литр-ры по стр-ву, – 1966. – 693 с.

237. Археология Украинской ССР. В 3 т. Т. 3: Раннеславянский и древнерусский периоды. – К.: Наукова думка, – 1986. – 573 с.
238. Давня історія України. В 3 т. Т. 3: Слов'яно-руська доба. – К.: інс-тут археол. НАН України, – 2000. – 695 с.
239. Археология СССР. В.В. Седов. Восточные славяне в VI – XIII вв. – М.: Наука, - 1982. – 326 с.
240. История Украинской ССР. В 10 т. Т. 1: Первобытный строй и зарождение классового общества. Киевская Русь (до второй половины XIII в.). – К.: Наукова думка, – 1981. – 495 с.
241. Давня історія України. В 2 кн. Кн. 2. – К.: Либідь, – 1995. – 220 с.
242. Археология СССР. Древняя Русь. Город, замок, село. – М.: Наука, – 1982. – 431 с.
243. Всеобщая история архитектуры. В 12 т. Т. 3: Архитектура Восточной Европы. Средние века. – Л. – М.: Изд. лит-ры по стр-ву, – 1966. – 687 с.
244. Bychkov I.V., Plankovskyi S.I. & Romanov A.A. Product life cycle and its information support // Vestnik UGATU, Ufa State Aviation Technical University, 2014, Vol. 18, 1(62), 149-155.
245. Bychkov I., Maiorova K. & Suponina V. The main stages of the technology for reengineering aircraft parts using three-dimensional scanning // Integrirovannye kompjuternye tehnologii v mashinostroenii, 2018, 14 (in russian).
246. ISO 1101:2017. Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out. <https://www.iso.org/standard/66777.html>.
247. Bychkov I., Maiorova K., Suponina V. & Riabikov S. Reengineering based on 3D-scanning in the process of propeller digital mock-up constructing for an ultra-light twin-seat aircraft // Integration of Fundamental and Applied Sciences in the Paradigm of Post-Industrial Society: Collection of Scientific Documents "ΛΟΓΟΣ" with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference April 24, 2020. Barcelona, Spain: the European Science platform, Vol. 2, 32-38. DOI 10.36074/24.04.2020.v2.09.

248. XFOIL 6.94 User Guide Mark Drela, MIT Aero & Astro Harold Youngren, Aerocraft, Inc. 10 Dec 2001.
249. Vetchinkin V.P. Theory and calculation of air propeller // State Publishing House of the defense industry, 1940.
250. Adkins C.T. Design of optimum propeller // American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.; AIAA, 1983, 12 p.
251. Moriarty P.J. AeroDyn Theory Manual // National Renewable Energy Laboratory Golden, Colorado; A. Craig Hansen Windward Engineering Salt Lake City, Utah; NREL, 2005, 36 p.
252. Rotec Radial Engines, 7 cyl (110hp) and 9 cyl (150hp). The perfect powerplant for your Replica or Classic aircraft... 2018 Campbell Aero Classics All rights reserved. <http://www.campbellaeroclassics.com/id65.html>.
253. Bychkov I., Mialytsia A., Bychkov N. & Hryhorovych A. Kinematic properties of the trajectories described by NURBS splines // Otkrytye informacionnye i komp'yuternye integrirovannye tehnologii, 2019, No85, 83-95 (in russian).
254. Zozulya V. V. & Men'shikov V. A. Solution of three-dimensional problems of the dynamic theory of elasticity for bodies with cavities using hypersingular integrals. International Applied Mechanics. 2000. Vol. 36(1), 74-81. <https://doi.org/10.32620/oikit.2019.85.04>.
255. Fevralev D. V., Ponomarenko N. N., Lukin V. V., Abramov S. K., Egiazarian K. O. & Astola, J. T. Efficiency analysis of color image filtering. // Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, 2011, Vol. 2011, Is. 1, No 41.
256. Nikiforova N.V Hygienical estimation by criteria of risk for the health of consumers of safety of building, finishing materials and furniture products as objects of technical regulation/dissertation on the competition of science-degree of Ph.D. of medical sciences. / Perm, 2017, – 179 p.
257. Novoselchuk N.E. Application of the modern finishing materials in interiors of the pre-school educational institutions» // Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations – Vol. 73(2019): Special Issue 2. – PP. 403-411.

258. Ukrainian national construction regulation 2.2-4:2018. Buildings and premises. Preschool establishments – in force since 2018-10-01. – Publisher state enterprise «Ukrarchbudinform», 2018. – 40 c.

259. Antibacterial properties and mechanism of bactericidal action of nanoparticles and ions of silver // Vestnik of the Kazan technological university. 2012. №14, pp. 170–172.

260. Innovative pargetings [E-resource] / Ionosfera 2020. Access mode: <https://ionosfera.org/innovacziionnyie-dekorativnyie-shtukaturki.html>

261. Designing of interiors of the development environment of educational establishments exercising the educational program of preschool formation / V.O. Ryzhikov [et al] ; under the editorship of V.O. Ryzhikov – M., 2013. – 254 pp.

262. Timoshina Y.A. (Bukina Y.A.) Production of antibacterial textile materials on the basis of nanoparticles of silver by means of modification of the textile material surface by non-equilibrium low temperature plasma / Timoshina Y.A. (Bukina Y.A.), E.A. Sergeeva // Vestnik of the Kazan technological university. – 2012. – №7. – pp. 125–128.

263. Asotsiatsiia enerhoaudytoriv Ukrainy. [Energy Auditors Association]. (2021, March 18). Retrieved from <http://aea.org.ua/ru/energy-management/> (in Ukrain).

264. Posternak I. M., Posternak S. A. (2016). Corporate scientific and technical complex town-planning power reconstruction "CSTC T-PPR" Odessa. The development of international competitiveness: state, region, enterprise: materials of the International scientific conference. Lisbon, Portugal: Baltija publishing. Part II. V. 1. Business economics and corporate management: innovation problem. pp. 6–8.

265. Posternak I. M., Posternak S. A. Die kalenderplanung bei der organisation des baues des komplexes städtebaulich energetisch-rekonstruktion. Economy and society: a modern foundation for human development: materials of the II International scientific conference, Germany, Leipzig, June 23th, 2017; Leipzig university: Baltija publishing, 2017. Part II. P. 44–47.

266. Nanostructured conductive polymers / ed. Ali Eftekhari // Wiltshire, Great Britain. – 2010 John Wiley & Sons Ltd, 2010. – P. 810

267. Nanoparticle assemblies and superstructures / ed. N.A. Kotov // – Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. – P.614
268. Leite, E.R. Crystallization and Growth of Colloidal Nanocrystals / E.R. Leite, C. Ribeiro. – N.Y.: Springer, 2012. – P. 101.
269. Born, P. G. Crystallization of Nanoscaled Colloids / N.Y.: Springer, 2013. – P. 138.
270. Romankevich O. V., Red'ko Ya., and Romankevich Ya. Dyeing with polyaniline synthesis in fibers. *Fibre Chemistry*. 2008. Vol. 40 (4). P. 349–354.
271. Ya. Red'ko, A. Brik, N. Suprun. Investigation of properties of electroconducting nanozones in materials of various nature by the electron paramagnetic resonance method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 3/5 (87). P. 24–30.
272. Self-Organized Morphology in Nanostructured Materials // Ed. K. Al-Shamery, J. Parisi. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – P.175.
273. Travas-Sejdic, J. Self-assembled polyaniline thin films: Comparison of poly(styrene sulphonate) and oligonucleotide as a polyanion / J. Travas-Sejdic, R. Soman, H. Peng // *Thin Solid Films*. – 2006. – Vol. 497. – P. 96–102.
274. *Multilayer Thin Films* / Ed. G. Decher, J. B. Schlenoff // Weinheim. – Wiley–VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., 2003. – P. 524.
275. Apaydin K., Laachachi A., Ball V., Jimenez M., Bourbigot S., Ruch D. Layer-by-layer deposition of a TiO<sub>2</sub>-filled intumescent coating and its effect on the flame retardancy of polyamide and polyester fabrics. *Colloids Surf Physicochem Eng Aspects*. 2015. Vol. 469. P. 1–10.
276. Carosio F., Alongi J., Malucelli G. Layer by layer ammonium polyphosphate-based coatings for flame retardancy of polyester-cotton blends. *Carbohydr Polym*. 2012. Vol. 88. P. 1460–1469.
277. Apaydin K., Laachachi A., Ball V., Jimenez M., Bourbigot S., Toniazzo V., Ruch D. Intumescent coating of (polyallylamine–polyphosphates) deposited on polyamide fabrics via layer-by-layer technique. *Polym Degrad Stab*. 2014. Vol. 106. P. 158–164.

278. Gregg, S.J., Sing, K.S.W. Adsorption, surface area and porosity – London: Academic Press, Inc., 1982. – 303 p.

279. Gleiter H. Nanostructured materials. Basic concepts and microstructure // *Acta Mater.* 2000. Vol. 48, no. 1. Pp. 1–29.

280. Buschow K.H.J. Concise encyclopedia of magnetic and superconducting materials. Elsevier, 2005. 1339 pp.

281. Taylor J.I., Hurst C.D., Davies M.J., Sachsinger N., Bruce I.J. Application of magnetite and silica–magnetite composites to the isolation of genomic {DNA} // *Journal of Chromatography A.* 2000. Vol. 890, no. 1. Pp. 159–166.

282. Perez J.M., Josephson Lee, O’Loughlin T., Hogemann D., Weissleder R. Magnetic relaxation switches capable of sensing molecular interactions // *Nat. Biotechnol.* 2002. Vol. 20. Pp. 816–820.

283. Zhang Y., Kohler N., Zhang M. Surface modification of superparamagnetic magnetite nanoparticles and their intracellular uptake // *Biomaterials.* 2002. Vol. 23, no. 7. Pp. 1553–1561.

284. Berry C., Curtis A. Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine // *Journal of Physics D: Applied Physics.* 2003. Vol. 36, no. 13. P. R198–R206.

285. Chiang C.-L., Sung C.-S., Wu T.-F., Chen C.-Y., Hsu C.-Y. Application of superparamagnetic nanoparticles in purification of plasmid {DNA} from bacterial cells // *Journal of Chromatography B.* 2005. Vol. 822, no. 1–2. Pp. 54–60.

286. Xu Chenjie, Xu Keming, Gu Hongwei, Zheng Rongkun, Liu Hui, Zhang Xixiang, Guo Zhihong, Xu Bing. Dopamine as A Robust Anchor to Immobilize Functional Molecules on the Iron Oxide Shell of Magnetic Nanoparticles // *Journal of the American Chemical Society.* 2004. Vol. 126, no. 32. Pp. 9938–9939.

287. Akira I., Masashige S., Hiroyuki H., Takeshi K. Medical application of functionalized magnetic nanoparticles // *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 2005. Vol. 100, no. 1. Pp. 1–11.

288. Gu Hongwei, Xu Keming, Xu Chenjie, Xu Bing. Biofunctional magnetic nanoparticles for protein separation and pathogen detection // *Chem. Commun.* 2006. Pp. 941–949.

289. Pan B., Cui D., Sheng Y., Ozkan C., Gao F., He R., Li Q., Xu P., Huang T. Dendrimer-modified magnetic nanoparticles enhance efficiency of gene delivery system // *Cancer Res.* 2007. Vol. 67, no. 17. Pp. 8156–8163.

290. Chang S.-Y., Zheng N.-Y., Chen C.-S., Chen C.-D., Chen Y.-Y., Wang C.R.C. Analysis of Peptides and Proteins Affinity-Bound to Iron Oxide Nanoparticles // *Journal of the American Society for Mass Spectrometry.* 2007. Vol. 18, no. 5. Pp. 910–918.

291. Marcin Rubacha, Janusz Zięba. Magnetic Textile Elements // *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe.* – 2006. – Vol. 14. – No. 5(59). – P. 49–53.

292. Redko Ya. Nanocomposite textile materials, containing iron oxide compounds // *VI Ukrainian-Polish Scientific Dialogues: Conference Proceedings. International Scientific Conference, 21–24 October 2015, Khmelnytsky (Ukraine).* – 2015. – P. 36–37.

293. Red'ko, Ya., Romankevich, O. Fiber Decorated with Magnetite Using Heterocoagulation // *Fibre Chemistry.* – Nov. 2014. – Vol. 46 (4). –P. 257–261.

294. De S Special Milks. In: *Outlines of Technology.* 1st Ed. Oxford University Press: New Delhi, 2001. P. 93–97.

295. Кравців Р.И., Кравців В.І., Островський Я.Ю. Молоко і молочні продукти: Л.: ЛА Піраміда, 2001. 310 с.

296. *Homogenizer Handbook Processing of Emulsions and Dispersions.* APV, An SPX Brand. 2009. P.23.

297. Huppertz T. Homogenization of Milk | Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification) / *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition).* 2011. P. 761–764.

298. Drankhar P. Homogenization fundamentals / *IOSR Journal of Engineering.* 2014. Vol. 4, Iss. 5. 8p. URL: [www.iosrjen.org/Papers/vol4\\_issue5%20\(part-4\)/A0454\\_0108.pdf](http://www.iosrjen.org/Papers/vol4_issue5%20(part-4)/A0454_0108.pdf).



299. Нужин, Е.В., Гладушняк А.К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монографія. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.
300. Brunner J. E., Duncan C. W., Trout G. M., Mackenzie M. The fat-globule membrane of nonhomogenized and homogenized milk / *Journal of Food Science*. 2006. 18(1–6). P. 469–474
301. Орешина М.Н. Использование импульсных диспергаторов для создания тонкодисперсных пищевых систем / *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2010. №1. С. 53(54).
302. Гвоздєв О.В., Паляничка Н.О. Обґрунтування параметрів імпульсного гомогенізатора молока / *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. Вип.11, Т.6. С. 191–197
303. Wilbey R.A. Homogenization of milk / *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2002. P. 1346–1349.
304. Просєков А.Ю., Курбанова М.Г. Анализ состава и свойств белков молока с целью использования в различных отраслях пищевой промышленности / *Техника и технология пищевых производств: НТЖ.- Кемерово*, 2009. № 4. С.68–71.
305. Samoichuk K., Kiurchev S., Oleksiienko V., Palyanichka N., Verholantseva V. Investigation of homogenization of milk in a pulsation machine with a vibrating rotor / *East Europe Journal* 6/11 (84). Kharkiv: PC «TECHNOLOGY CENTER» 2016. P. 16–21.
306. Гомогенізатор для рідких продуктів: пат. 37355 Україна: № u200807808; заявл. 09.06.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
307. Паляничка Н.О. Аналіз існуючих гіпотез руйнування жирових кульок / *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь, 2010. Вип.10, Т.3. С. 48–54.
308. Паляничка Н.О. Вдосконалення процесу імпульсної гомогенізації молока: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.12. Донецьк, 2013. 20 с.
309. Паляничка Н.О., Гвоздєв О.В. Експериментальне обґрунтування параметрів імпульсного гомогенізатора молока / *Збірник наукових праць*

Одеської національної академії харчових технологій: зб. наук. праць. Одеса: ОНАХТ, 2011. Вип.39, Т.2. С. 177–181.

310. Паляничка, Н.О., Гвоздєв О.В. Визначення ступеня гомогенізації при імпульсній гомогенізації молока / Праці ТДАТУ: зб. наук. праць Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип.13, Т.7. С. 102–107.

311. Самойчук К.О., Ковальов О.О., Левченко Л.В. Перспективні способи диспергування жирової фази молока / Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі, 18 травня 2017р. ХДУХТ, Харків, Ч. 1. С. 280–281.

312. Паляничка Н.О., Гвоздєв О.В., Самойчук К.О. Експериментальне обґрунтування ефективності використання імпульсної гомогенізації молока / Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку: матеріали VII міжнар. наук.-практ. конф., 2011 р. ДонНУЕТ. Донецьк, 2011. С. 163–166.

313. Паляничка Н.О. Визначення основних параметрів і режимів роботи промислового зразка імпульсного гомогенізатора молока / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15.Т.1. С. 187–191.

314. Паляничка Н.О., Антонова Г.В. Експериментальні дослідження впливу основних факторів на ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі. / Праці ТДАТУ: зб. наук. праць Таврійського державного агротехнологічного університету, Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т.1. С. 21–28.

315. Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Левченко Л.В. Теоретичні дослідження пульсаційної гомогенізації молока / Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: матеріали II міжнар. наук. практ. конф., 5–7 вересня. ХДУХТ. Харків, 2017. С. 42–43.

316. Самойчук К. О., Паляничка Н.О. Аналіз сил, що діють на жирову кульку під час гомогенізації / Праці ТДАТА: зб. наук. праць Таврійської державної агротехнічної академії, Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип.10, Т.3. С. 87–92.

317. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Аналіз сил дроблення жирових кульок в струминному гомогенізаторі / Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України "Кримський агротехнологічний університет" ПФ НУБіП України "КАТУ", Сімферополь, 2013. Вип.153. С. 26–34.

318. Орешина М.Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.12. М., 2010. 50 с.

319. Орешина М.Н. Разработка импульсного гомогенизатора на основе исследования дробления жировых шариков молока: дис. канд. техн. наук: 05.18.12. Орёл, 2001. 126 с.

320. Гвоздєв О.В., Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench / Обладнання та технології харчових виробництв: тематич. зб. наук. праць. Донецьк, 2012. Вип. 28. С. 294–300.

321. Паляничка Н.О. Модель подрібнення жирових часток кавітаційними збурюваннями імпульсного гомогенізатора / "Перспективна техніка і технології – 2009: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. студентів і молодих вчених, 2009, МДАУ. Миколаїв, 2009. С. 58–62.

322. Паляничка Н.О., Петриченко С.В., Антонова Г.В., Левченко Л.В. Визначення основних залежностей ефективності імпульсної гомогенізації молока. / Праці ТДАТУ: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17., Т.1. С. 105–112.

323. Loncin M., Merson R. Food Engineering. Principles and Selected Applications. New York: Academic Press, 1979. 279 p.

324. Самойчук К.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого гомогенізатора молока: дис. канд. техн. наук: 05.18.12. Донецьк, 2008. 155 с.

325. Самойчук К.О., Левченко Л.В. Аналітичні дослідження умов диспергування жирової фази молока в пульсаційному гомогенізаторі / Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету: Дніпропетровськ. 2016. №1 (39). С. 64–67.

326. Самойчук К.О., Івженко А.О., Султанова В.О. Дослідження імпульсного гомогенізатора / Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 8-11 вересня 2015 р. Мелітополь-Кирилівка, 2015, С. 91–92.

327. Самойчук К.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого гомогенізатора молока: автореф. канд. техн. наук: 05.18.12. Донецьк, 2008. 20 с.

328. Самойчук К.О. Методика расчёта степени дисперсности эмульсий / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol.18. No.2. P. 97–102.

329. Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Паляничка Н.О., Левченко Л.В. Визначення впливу подачі молока в пульсаційному гомогенізаторі / Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. 3 (98). С. 12–17.

330. Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Левченко Л.В. Вплив кратності обробки молочної емульсії в пульсаційному гомогенізаторі / Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць. Харків: ХДУХТ, 2016. Вип. 2 (24) С. 226–233.

331. Самойчук К.О. Багатократна і багатоступінчаста гомогенізація молока / Праці ТДАТУ: зб. наук. праць Таврійського державного агротехнологічного університету, Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 18. Т.1 2018. С. 22–28.

332. Самойчук К.О. Кратність гомогенізації молока / Інноваційні технології виробництва та переробки тваринницької продукції: матеріали між нар. наук.

практ. інтернет-конференції, 12.12.2017 р. РВВ ВНАУ. Вінниця, 2017. С. 170–172.

333. Инструкция по химическому контролю на предприятиях молочной промышленности; утв. М-вом мясн. и молоч. пром-сти СССР 30.12.88. М., 1988. 118 с.

334. Herashchenko, O.A., Hryshchenko, T.H. Devices for Thermophysical Measurements. Catalogue. К., 1991.

335. Thermophysical Measurements and Devices. Edited by E.S. Platunov. - L.: Mashynostroenie Journal, Leningrad Division, 1986. - 256 p.

336. Sergeev, O.A. Metrological Fundamentals of Thermophysical Measurements. - М.: Standards Publishers, 1972. - 154 p.

337. Petrov, B.N., Viktorov, V.A. et al. The Principle of Invariance in Measuring Devices. - М.: Nauka Publishers, 1976. - 244 p.

338. Dulniev, G.N. Heat and Mass Exchange in Radioelectronic Devices. - М.: Vysshaya Shkola Publishers, 1984. - 247 p.

339. Inventor's Certificate 428260 (USSR). A Method of Measuring Thermophysical Characteristics of Gas and Liquid Layers. Pistun, E.P., Rogotskiy Ya.T. – Published in Inventions Bulletin, No18, 1974.

340. Vasytkivskyi, I. A Thermal Conductivity Measuring Converter for Construction Materials Based on a New Partially Balanced Thermometric Bridge Circuit / I. Vasytkivskyi, Ya. Yusyk // Lviv Polytechnic National University Bulletin. – 2013. – No758: Heat Power Engineering. Environmental Engineering. Automation. – pp. 164-169.

341. Inventor's Certificate 1681216 (USSR). A Method of Measuring the Thermal Conductivity of Materials. Pistun, E.P., Rogotskiy Ya.T., Vasytkivskyi, I.S., Yusyк, Ya.P. - Published in Inventions Bulletin, No36. 1991.

342. Inventor's Certificate 1536969 (USSR). A Method of Measuring the Thermal Conductivity of Substances. Pistun, E.P., Rogotskiy Ya.T., Vasytkivskyi, I.S., Yusyк, Ya.P. (Restricted circulation).

343. Пат. № 2020739 RU. N-мерный коммутационный элемент С. А. Березовского / С. А. Березовский.– 1994. – Бюл. № 18.

344. Березовський, С. О. Модель 3D-комутаційного елемента мережевої структури зв'язку / С. О. Березовський // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2008. – № 2. – С. 86–92.

345. Berezovsky, S. A. Cognitive graphics elements of homogeneous switching structures/ S. A. Berezovsky // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении. – К.: АТМ Украины, 2004. – С. 7–11.

346. Березовский, С. А. Недекартовая многослойная коммутационная структура / С. А. Березовский // 100-летие начала использования электромагнитных волн для передачи сообщений и зарождения радиотехники Международная конференция: 50-я Научная сессия, посвященная Дню радио. – М., 1995. – С. 30.

347. Bergh, J.R. Ontology comprehension / J.R. Bergh // University of Stellenbosch, Master Thesis 2010

348. Словарь-справочник терминов нормативно-технической документации. [https://normative\\_reference\\_dictionary.academic.ru/41687/%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%BD-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C](https://normative_reference_dictionary.academic.ru/41687/%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%BD-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C)

349. Березовский, С. А. 3D реконфигурируемая коммутационная структура на элементах Березовского / С. А. Березовский// Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: VIII Міжнар. наук.-практ. конф. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 89–91.

350. Berezovsky, S. A. Homogeneous switching structure for computing systems purposes/ S. A. Berezovsky // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении. – Киев: АТМ Украины, 2009. – С. 10–14.

351. Дайджест МВФ «Політики реагування на COVID-19». URL: <https://www.imf.org/en/>

Topics/imf-and-covid19/Policy-Responses-to-COVID-19 (дата звернення: 20.05.2020).

352. Оперативна інформація про видатки на боротьбу з COVID-19. URL:

[https://public.tableau.com/profile/ua.gov.covid19#!/vizhome/COVID-19UKRAINE/ COVID\\_19](https://public.tableau.com/profile/ua.gov.covid19#!/vizhome/COVID-19UKRAINE/COVID_19)

353. Дані опитування-дослідження Info Sapiens (березень 2020) та Advanter Group URL: <https://sapiens.com.ua/ua/publication-single-page?id=114> (дата

354. Державна служба статистики України : сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата

355. Дослідження стану та перспектив українського бізнесу. Офіційний сайт. URL: <https://hvylya.net/>

356. 1. Шершньова З. Є. Антикризове управління підприємством / З. Є. Шершньова, В. М. Багацький,

357. Проектування складів сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками / В. П. Очеретний, В. В. Смоляк, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2010. - № 1. - С. 48-54.

358. Друкований М. Ф. Комплексне золошламове в'язуче [Текст] / М. Ф. Друкований, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2006. – Вип. 21. – С. 94-100.

359. Ковальський В. П. Применения красного бокситового шлама в производстве строительных материалов [Текст] / В. П. Ковальський // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2005. – № 1(49). – С. 55-60.

360. Ковальський В. П. Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей. [Текст] / В. П. Ковальський , В. П. Очеретний, А. В. Бондар // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2014. – № 10(18). – С. 44-47.

361. Л. Й.Дворкін, В. В. Житковський, В. В. Марчук, Ю. О. Степасюк, та М. М. Скрипник, Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини: монографія. Рівне, Україна: НУВГП, 2017.

362. В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних

сумішей», Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві», № 1, с. 36-40, 2009.

363. Л. И. Дворкин, В. В. Житковский, и В. В. Марчук, Сухие строительные смеси с применение дисперсных отходов промышленности: монография. Москва, РФ: Инфра-Инженерия, 2019.

364. Б. М. Аубакирова, «Технология и свойства эффективных модифицированных сухих строительных смесей», автореф. дис. канд. наук., Научно-исследовательский и проектный институт строительных материалов ТОО «НИИСТРОМПРОЕКТ», Алматы, Республика Казахстан, 2010.

365. Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар. // Рівне: Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186 – 193.

366. Ковальський В. П. Методы активации золы уноса ТЭС / В. П. Ковальський , О. С. Сідлак // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2014. – № 10(18). – С. 47-49.

367. Лемешев, М. С. Легкі бетони отримані на основі відходів промисловості / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2015. – № 1 (38). Т. 13. – С. 111-114.

368. М. С. Макаревич, «Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками», автореф. дис. канд. наук., Томский гос. архитектурно-строительный ун-т, Томск, РФ, 2005.

369. М. А. Смирнов, «Сухие общестроительные смеси с улучшенными эксплуатационными свойствами», дис. канд. наук., Тверской гос. технический ун-т, Тверь, РФ, 2006.

370. Бондар А. В. Використання глиняного порошку для виготовлення сухих будівельних сумішей / А. В. Бондар, В. П. Ковальський // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні науково-технічні дослідження", 3-5 квітня 2018 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2018. – С. 151.



371. Є. К. Карапузов, В. Г. Соха, та Т. Е. Остапченко, Матеріали і технології в сучасному будівництві: Підручник. Київ, Україна: Вища освіта, 2005.
372. Очеретный В. П. Оптимизация состава карбонатного бетона / В. П. Очеретный, В. П. Ковальский // Материалы к 44-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов “Моделирование и оптимизация в материаловедении "МОК'44". – Одесса : Астропринт, 2005. – С. 134.
373. А. В. Бондар, «Ефективні сухі будівельні суміші для елементів підлог цивільних будівель», автореф. дис. канд. наук., ВНТУ, Вінниця, Україна, 2019.
374. Ковальський В. П. Комплексне золоцементне в'язуче, модифіковане лужною алюмоферитною добавкою [Текст] : монографія / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 98 с. - ISBN 978-966-641-338-6.
375. Сердюк В. Р. Золоцементне в'язуче для виготовлення ніздрюватих бетонів / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О. В. Христич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011. – № 1. – С. 57-61.
376. Бондар А. В. Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей / А. В. Бондар, В.П. Ковальський, В. П. Бурлаков, Є. Р. Матвійчук // Екологічні науки: науково-практичний журнал. – К: ДЕА, 2018. – № 3(22). – С. 21-24. – ISSN 2306-9716.
377. Цигичко С. П. Екологія в архітектурі і містобудуванні: навч. посібник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х : ХНАМГ, 2012. 146 с.
378. Горохов В.А. Зеленая природа города: Учебное пособие для вузов. М.; Архитектура, 2005. 528с.
379. Шевченко А.С., Величко Е.Г., Цховребов Э.С. Формирование и реализация методических принципов экологического домостроения (на примере бизнес-проекта автономного энергоэффективного комплекса «Экодом»). Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). С. 415–428.
380. Shimmura T, Arai K, Yamamoto T, Oura S, Fujii N, Nonaka T, and Tanizaki T. (2019) Introducing Batch Production and Training Game for Enhancing Both Quality of Dish and Labor Productivity at Japanese Cuisine Restaurant 2019 79 pp. 690-694.

381. Polovyk V.V, Yurchenko D.Y, Koretska I.L. Use of non-traditional raw materials in the technology of whipped dessert. / Volume 59 of PROCEEDINGS includes the papers presented at the scientific conference RU & SU'20, organized and conducted by University of Ruse "Angel Kanchev" and the Union of Scientists - Razgrad. Series 10.3. contains papers reported in the Chemical technologies & Biotechnologies and Food Technologies section. Ruse 2020. C 67. C 18-23.

382. Ferrante M., Slejko G., Bellows L., (2020), Incorporating Behavioral Economic Strategies into Children's Restaurant Menus to Improve Healthfulness: Parent Perceptions, *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 8, pp.9.

383. Massini L., Rico D., Martin-Diana A. B. (2018), Chapter 4: Quality Attributes of Apple Juice: Role and Effect of Phenolic Compounds, *Fruit Juices*, 24 November, pp. 45-57.

384. González-Herrera S. M., Rutiaga-Quiñones O. M., Rodríguez-Herrera R. (2016), Dehydrated apple matrix supplemented with agave fructans, inulin, and oligofructose, *LWT - Food Science and Technology*, 65, pp. 1059-1065.

385. Jatav S., Dwivedi P., Mishra B. B. (2018), Chapter 6: Properties and important molecules of medicinal interest in wood apple (*Aegle marmelos*), *Synthesis of Medicinal Agents from Plants*, , pp. 127-150.

386. Kalinowska M., Bielawska A., Lewandowski W. (2014), Apples: Content of phenolic compounds vs. variety, part of apple and cultivation model, extraction of phenolic compounds, biological properties, *Plant Physiology and Biochemistry*, 84, 169-188.

387. Koutsos A., Lovegrove J. A., (2015), Chapter 12: An Apple a Day Keeps the Doctor Away – Inter-Relationship Between Apple Consumption, the Gut Microbiota and Cardiometabolic Disease Risk Reduction, *Diet-Microbe Interactions in the Gut*, pp. 173-194.

388. Marcus J. B. (2019), Chapter 10: Recipes and Menus That Appeal to Aging Palates, *Aging, Nutrition and Taste*, , pp.339-428.

389. Nitcheu Ngemakwe P. H., Remize F., Sivakumar D.(2017), Phytochemical and nutritional properties of underutilised fruits in the southern African region, South African Journal of Botany, 113, 137-149.
390. Kitson J. A., Ruck J. A., Moyl A. W. (1968), Utilizing an Expanding Western Apple Crop, Canadian Institute of Food Technology Journal, 4, pp. a94-a96.
391. May Colin D.,(1990), Industrial pectins: Sources, production and applications, Carbohydrate Polymers, 12, pp. 79-99.
392. Precup G., Mitrea L., Vodnar D. C. (2020), Chapter 8: Food processing by-products and molecular gastronomy, Gastronomy and Food Science, pp. 137-163.
393. Seçmeler Ö., Sevimli Y. (2020), Chapter 9: Recipes for the valorization of culinary by-products and leftovers, Gastronomy and Food Science, pp. 165-192.
394. Zeeb B., Roth M., Endre H. U.(2020), Chapter 10: Commercial pectins, Handbook of Hydrocolloids (Third Edition), pp. 295-315.
395. Koretska I, Zinchenko T., Polyovyk V., Kuzmin O. Modelling of the chemical composition of desserts and assessment of the quality . «Ukrainian food journal». Ukrainian Food Journal Volume 8, Issue 2 , 2020. – 187с. С 6-21.
396. Корецька І.Л., Зінченко Т. В. Літ. твір «Рекомендації щодо використання профілограм для оцінювання якості виробу»©. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 74803, від 17.11.2017.
397. Koretska, I. & Zinchenko. T. Sample rating in water-alcohol technology by profile non-linear quality criteria. Koretska I., Kuzmin O. & Zinchenko T. // В журн. «Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації». Том 3, №1 (червень, 2020), С 12-24.
398. Храмов, А. Г. Параметрическое моделирование состава пищевых продуктов для индивидуального питания / А. Г. Храмов, М. А. Селимов, Т. В. Щедрина & В. В. Садовой // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2011. — № 6. — С. 8-10..
399. Тележенко, Л. М. (2004) Биологически активные вещества фруктов и овощей и их сохранение при переработке : монография / Л. М. Тележенко, А. Т. Безусов. – Одесса : Optimum, 2004. – 268 с.

400. Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів: навч. посіб. / за ред. проф. А.М. Дорохович і проф. В.М. Ковбаси. – К.: Фірма «ІНКОС», 2015. – 632 с.

401. Shimmura T., Ichikari R., Nonaka T. (2020), Service robot introduction to a restaurant enhances both labor productivity and service quality, *Procedia CIRP*, 88, pp. 589-594.

402. S.V Shilko, V.E. Starzhinskii Prediction of Wear Resistance of Gearing with Wheels Made of Reinforced Composites, *J. of Friction and Wear*, vol. 14, No. 3., pp. 7–13, 1993.

403. Yu.N. Drozdov. To the Development of Methods for Calculating the Wear and Modeling of Friction. In book: *Wear resistance*. Moscow: Nauka, 1975 (in Russian).

404. C.J. Hooke, S.N. Kukureka, P. Liao, M. Rao, Y.K. Chen. The Friction and Wear of Polymers in Non-Conformal Contacts, *Wear*, vol. 200, pp. 83–94, 1996.

405. G. Kalacska, M. Kozma, P. De Baets, R. Keresztes, L. Zsidai. Friction and Wear of Engineering Polymer Gears, *Proc. of WTC 2005. World Tribology Congress III*. Washington, D.C., USA. – Sept. 12-16, 2005.

406. R. Keresztes, G. Kalacska. Friction of Polymer/Steel Gear Pairs, *Plastics and Rubber*, vol. 45, pp. 236–242, 2008.

407. J. Sukumaran, M. Ando, P. De Baets, V. Rodriguez, L. Szabadi, G. Kalacska, V. Paepegem. Modelling Gear Contact with Twin-Disc Setup, *Tribology International*, vol. 49, pp. 1–7, 2012.

408. J. Cathelin, E. Letzelter., M. Guingand, J.P. De Vaujany, L. Chazeau. Experimental and Numerical Study a Loaded Cylindrical PA66 Gear, *J. of Mechanical Design.*, vol. 135, pp. 89–98, 2013.

409. V.A. Belyi, V.E. Starzhinskii, S.V. Shcherbakov. *Metal-Polymer Gears*. Minsk: Belaruskaya navuka, 1981 (in Russian).

410. V.E. Starzhinskii, E.V. Shalobaev, S.V. Shil'ko, et al. *Elements Drive Devices. Calculation, Design, Technologies* / Ed. by Yu.M. Pleskachevsky. Minsk: Belaruskaya navuka, 2012 (in Russian).

411. S.V. Shil'ko, V.E. Starzhinskii, E.M. Petrokovets, et al. Two-Level Calculation Method for Tribojoints Made of Dispersion-Reinforced Composites: Part 1, *J. of Friction and Wear*, vol. 34, No. 1, pp. 65–69, 2013.
412. A.S. Pronikov. *Machine Reliability*. Moscow: Mashinostroenie, 1978 (in Russian).
413. V.V. Grib. *The Solution of Tribotechnical Problems by Numerical Methods*. Moscow: Nauka, 1982 (in Russian).
414. J. Brauer, S. Andersson. Simulation of Wear in Gears with Flank Interference – a Mixed FE and Analytical Approach, *Wear*, vol. 254, pp. 1216–1232, 2003.
415. A. Flodin, S. Andersson. Simulation of Mild Wear in Spur Gears, *Wear*, vol. 207 (1-2), pp. 16-23, 1997.
416. A. Flodin, S. Andersson. Wear Simulation of Spur Gears, *Tribotest J.*, vol. 5 (3), pp. 225–250, 1999.
417. A. Flodin, S. Andersson. Simulation of Mild Wear in Helical Gears, *Wear*, vol. 241 (2), pp. 123–128, 2000.
418. A. Flodin, S. Andersson. A Simplified Model for Wear Prediction in Helical Gears, *Wear*, vol. 249 (3-4), pp. 285–292, 2001.
419. A. Kahraman, P. Bajpai, N.E. Anderson. Influence of Tooth Profile Deviations on Helical Gear Wear, *J. of Mechanical Design*, vol. 127 (4), pp. 656–663, 2005.
420. M. Kolivand, A. Kahraman. An ease-off based method for loaded tooth contact analysis of hypoid gears having local and global surface deviation, *J. Mech. Des.*, vol. 132 (7), pp. 0710041–0710048, 2010.
421. A. Pasta, G. Virzi Mariotti. Finite Element Method Analysis of a Spur Gear with a Corrected Profile. *J. Strain Analysis*, vol. 42, pp. 281–292, 2007.
422. A.E. Andreikiv, M.V. Chernets. *Evaluation of the Contact Interaction of Rubbing Machine Parts*. Kiev: Naukova Dumka, 1991 (in Russian).
423. M. Czerniec, J. Kielbinski. *Forecasting of tribological durability of involute gear wheels*. Publishing house Lublin University of Technology, 2003 (in Polish).

424. M.V.Chernets, R.Ya.Yarema, Yu.M. Chernets. A Method for the Evaluation of the Influence of Correction and Wear of the Teeth of a Cylindrical Gear on Its Durability and Strength. Part 1. Service Live and Wear, Materials Science, No. 3, pp. 289-300, 2012.

425. M.V. Chernets, Yu.M. Chernets. A Technique for Calculating Tribotechnical Characteristics of Tractive Cylindrical Gear of VL-10, J. of Friction and Wear, vol. 38, No. 1, pp. 23–29, 2017.

426. M. Chernets, Yu. Chernets. The Simulation of Influence of Engagement Conditions and Technological Teeth Correction on Contact Strength, Wear and Durability of Cylindrical Spur Gear of Electric Locomotive, Proc. JMechE Part J: J. of Engineering Tribology, vol. 231, No. 1, pp. 57–62, 2017.

427. M.V. Chernets, S.V. Shil'ko, M.I. Pashechko, and M. Barshch. Wear resistance of glass- and carbon-filled polyamide composites for metal-polymer gears, J. of Friction and Wear, vol. 39, No. 5, pp. 361–364, 2018.

428. M. Chernets. Method of calculation of tribotechnical characteristics of the metal-polymer gear, reinforced with glass fiber, taking into account the correction of tooth, Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability, vol. 21(4), pp. 546–552, 2019, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2019.4.2>.

429. Chernets M V, Kelbinski J and Jarema R Ja 2011 A study on the impact of teeth meshing conditions and profile correction on the carrying capacity, wear, and life of a cylindrical gear, Materials Science, vol. 1, pp. 45–51.

430. Обращение с отходами агропромышленного комплекса: возможности для Украины.- Киев.-2013.

431. Гелетуха Г., Железная Т. Мировой опыт использования отходов сельского хозяйства для производства энергии // Экология предприятия. – 2014. – № 3. – С. 56–57.

432. Гуменюк Г.Д. Использование отходов промышленности и сельского хозяйства в животноводстве / Г.Д. Гуменюк, А.М. Жадан, А.Н. Коробко.- 3-е изд. перераб. и доп.- К.: Урожай, 1991. - 216 с.

433. Рекомендации по использованию подсолнечниковой лузги в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы / Ольшанский А.В., Солоха Д.И., Мельников К.А. и др. – Днепропетровск: ДГАУ, 1998. - 20с.

434. Ершова О.В., Ивановский С.К., Чупрова Л.В., Бахаева А.Н. Современные композиционные материалы на основе полимерной матрицы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4-1. – С. 14-18.

435. Кашпаров И.И., Клушин В.А., Винокуров И.П., Зубенко А.Ф., Кашпарова В.П., Смирнова Н.В. Композиционные материалы на основе отходов сельского хозяйства, производства 5-гидроксиметилфурфурола и полиэтилена. // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2017; (19-21):116-125.

436. Gridneva, T. V. Obtaining of high purity amorphous silicon dioxide from rice husk / T.V. Gridneva A.V. Kravchenko, V.D. Barsky, N.A. Gurevina // Chemistry&Chemical Technology. – 2016. – Vol. 10, № 4. – P. 499–505.

437. Белая А.А. Физико-химические основы процесса получения карбида кремния из рисовой шелухи / А.А. Белая, П.И. Сорока, О.А. Тертышный // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков, 2010. – № 10. – С. 78–85.

438. Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines / L. Pelevin, A. Fomin, Ie. Gorbatyuk, G. Machishin. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 3, № 7 (93): Applied mechanics. P. 41–52.

439. Проведення ефективного прогнозування роботи машин для земляних робіт / Пелевін Леонід, Фомін Анатолій, Горбатюк Євгеній, Шаленко Вадим. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2019. №93. Київ: КНУБА. С. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0102>

440. Developing a mathematical substantiation for the physical modelling of the soil-ripping equipment work process / L. Pelevin, Ie. Gorbatyuk, S. Zaichenko, V. Shalenko. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, no. 2 (90): Information technology. Industry control systems. P. 52–60.

441. Gorbatyuk I., Balaka M., Mishchuk D. Information model of bulldozer-looser movement. The world of science and innovation. Abstracts of the 7th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2021. 54-59. ISBN 978-92-9472-197-6.

442. Горбатюк Є.В., Терентьев О.О., Горбатюк М.Є. Алгоритм оцінки прийняття проектних рішень в будівництві. Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки: праці ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (ПІКТ – 2020), м. Чернівці, 28–31 жовт. 2020. Чернівці: Черн. нац. ун-т, 2020. С. 49-51.

443. Горбатюк Є.В. Інформаційна система прогнозування ефективності землерийних машин в будівництві. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 11-а Міжнародна науково-практична конференція, 08-10 вересня 2020р. Херсон: Херсонська державна морська академія. 2020. С. 140-143.

444. Створення основ теорії передачі енергії робочими рідинами в динамічних системах приводів машин: монографія / Пелевін Л.Є., Назаренко І.І., Горбатюк Є.В., Свідерський А.Т., Аржаєв Г.О. Київ: Аграр Медіа Груп, 2014. 144с. ISBN 978-617-646-272-9.

445. Радько О. В., Медведєва Н. А., Кремешний О. І. Вибір методів контролю якості конструкційних елементів машин та механізмів. Системи озброєння і військова техніка. 2015, № 2(42). С. 127-130.

446. Н. Перетяка. Аналіз даних теплового контролю шпіндельних опор настільного токарно-гвинторізного верстата. Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2019. № 2. С. 91-98. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-143-2-91-98>

447. Lisitsin V.N., Trushin N.N., Meshkov I.V. Experimental study of cutting modes in the processing of fiberglass // Izvestiya Tula State University. Technical sciences, Tula: TulSU Publishing House. - 2017. - №08. - Part 2. - P.180-189.

448. Laser marking of identification documents. URL: <https://elenlaser.com/blog/laser-processing-identification-documents.html>



449. Riznyk V., Lyakhovych O. Methods and technologies for the protection of documents and securities from forgery // Visn. Nat. Lviv Polytechnic University. - 2010. - № 686. - P. 271-275.

450. Forgery, forgery. The most counterfeit goods. URL: <http://uaacp.org/2012/05/14/falsifikat-pidrobka-tovari-yaki-najbilshe-pidroblyayut/>

451. Transparent: new rules for the sale of food products. URL: <https://e-tender.ua/news/prozoro-novi-pravila-realizaciyi-harchovih-produktiv-339>

452. DPM - Direct Part Marking. URL: <https://www.vostok.dp.ua/ukr/infa1/glossary/dpm/>

453. Shuaibov OK Laser radiation sources and their application in microelectronics. Teaching. manual // O.K. Shuaibov, I.I. Opachko, I.E. Kacher, M.P. Chuchman, - Uzhhorod: UNU. - 2009. - 238p.

454. Щербаков В.С. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Г. Григорьев Омск: СибАДИ, 2011. – 119 с.

455. Анализ технического уровня гидроустройств для мобильных подъемников с рабочими платформами / [Г. А. Аврунин, И. Г. Кириченко, А. В. Ярышко, С. А. Литвин] // Промислова гідроліка і пневматика. – 2018. – № 1(59). – С. 3–18.

456. Мачты, ножницы и телескопы / Подъемное оборудование. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/4510-podemnoe-oborudovanie-machty-nojnitsy-i-teleskopy> (дата звернення 02.02.2021 р.).

457. Варывдин И. Мачты, ножницы и телескопы / И. Варывдин // Подъемное оборудование. Часть 2. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/2299-podemnoe-oborudovanie-machty-nojnitsy-i-teleskopy-ch-2> (дата звернення 08.02.2021 р.).

458. Варывдин И. Мачты, ножницы и телескопы / И. Варывдин // Подъемное оборудование. Часть 3. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/4205-podemnoe-oborudovanie-machty-nojnitsy-i-teleskopy-ch-3> (дата звернення 08.02.2021 р.).

459. Протасов Н. Ауриггеры – гарантия устойчивости автогидроподъемников / Н. Протасов. – Режим доступа:

<https://os1.ru/article/6896-autrigrery-garantiya-ustoychivosti-avtogidropodemnikov>  
(дата звернення 09.02.2021 р.).

460. Офіційний сайт компанії «ТЭЛ» / Устройства и приборы безопасности автовышек и автогидроподъемников. – Режим доступа: <https://www.trek-spb.ru/statji/ustrojstva-i-pribory-bezopasnosti-avtovyshek-i-avtogidropodemnikov.html> (дата звернення 10.02.2021 р.).

461. Симоненко А.П. Основные закономерности снижения гидродинамического сопротивления турбулентного трения в растворах мицеллообразующих поверхностно-активных веществ / А.П. Симоненко, Н.А. Дмитренко, П.В. Асланов // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности: материалы I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16-18 мая 2016 г.). – Ростов-на-Дону, 2016.– Т. 1 : Физико-математические, технические науки и экология / под общ. ред. С. В. Беспаловой. – С. 191-194.

462. Повх И.Л. Особенности турбулентных течений растворов мицеллообразующих поверхностно-активных веществ / И.Л. Повх [и др.] // Механика турбулентных потоков: сборник. – Москва, 1980. – С. 44-69.

463. Симоненко А.П. Турбулентное течение водных растворов мицеллообразующих ПАВ в зазоре между коаксиальными цилиндрами / А.П. Симоненко // Инженерно-физический журнал. – 1980. – Т. XXXVIII, № 2. – С. 231-234.

464. Koeltzsch, K., Qi, Y., Brodkey, R. S., & Zakin, J. L. (2003). Drag reduction using surfactants in a rotating cylinder geometry. *Experiments in Fluids*, 34(4), 515–530. <https://doi.org/10.1007/s00348-003-0590-4>

465. Чернюк В.В., Піцишин Б.С. Установка для дослідження структури потоку рідини між неспіввісними статором і ротором. Вісник Державного Університету "Львівська політехніка" "Теплоенергетичні системи та пристрої" – Львів, видавництво ДУ "Львівська політехніка".– 1996.– № 304.– С.80-84.

466. Ahmad Z. Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control // 1st Edition. - Butterworth-Heinemann, 2017. – 51 p.

467. Khatak H. S., Raj B. Corrosion of Austenitic Corrosion-resistant Steels // 1st Edition. Imprint: Woodhead Publishing. – 2019. - p. 71.

468. Shipilov S., Jones R., Olive J.-M., Rebak R. Environment-Induced Cracking of Materials // 1st Edition. Imprint: Elsevier Science, 2020. - p. 21.

469. Банных О.А. Экономичные нержавеющие азотистые стали как перспективный заменитель легких сплавов. / О.А. Банных. // МИТОМ. - 2005. - № 1. - С. 9-13.

470. Cheylyakh A.P., Malinov, L.S., Gogol', S.N. New corrosion-resistant nickel-free two-phase steels // Izvestia Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Chernaya Metallurgiya. – 2001, Issue 7, P. 44-47.

471. Cheylyakh A.P., Sheichenko, G.V. Structure and physicomechanical properties of new nickel-free corrosion-resistant austenitic-ferritic steels // Russian Metallurgy (Metally). – 2002, Volume 2002, Issue 5, September 2002, P. 452-458.

472. Cheylyakh A.P. Kinetics of Deformation-Induced Martensitic Transformation (and Mechanical Properties of Steels and Irons with Different Contents of Metastable austenite // The Physics of Metal and Metallography. - 2002.- Vol. 94, № 4, p. 378-387.

473. Ryoo, D.-V. Effect of Ni content on tensile properties and strain-induced martensite transformation for 304 corrosion-resistant steel. / D.-V. Ryoo, N. Kang, C.-H. Kang. // Materials Science and Engineering: A. - 2018. - V. 529. - P. 2277-2281.

474. Fialko N.M., Sherenkovsky Ju.V., Mayson N.V., Meranova N.O., Butovsky L.S., Abdulin M.Z, Polozenko N.P., Klishch A.V., Stryzheus S.N., Timoshchenko A.B. Intensification of transport processes in a burner device with a cylindrical flame stabilizer. Scientific Bulletin of UNFU. 2014. 24 (5). P. 136-142. (Rus). ISBN 5-7763-2435-1.

475. Fialko N.M., Sherenkovsky Ju.V., Ivanenko G.V., Olkhovskaya N.N. ИИ ОЛЬХОВСКАЯ, Milko E.I., Ozerov A.A., Kuniak O.M., Shvetsova L.A., Donchak M.I. Influence of the step between gas jets on the flow characteristics in stabilizer burner devices. Scientific Bulletin of the National University of Bio resources and Nature

Management of Ukraine. Series: Engineering and power engineering of the agro-industrial complex 2014. 194(3). P.104-107.

476. Fialko N.M., Sherenkovsky Ju.V., Prokopov V.G., Polozenko N.P., Meranova N.O., Aleshko S.A., Ivanenko G.V., Yurchuk V.L., Milko E.I., Olkhovskaya N.N. Modeling of the flow structure in the echelonized gratings of stabilizers with a different step of their displacement. Eastern European Journal of Advanced Technology. 2015. V.2. № 8 (74). P.29-34. (Rus). ISSN 1729-3774. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39193>.

477. Merzhanov A.G., Bykov V.I. On the adequacy of experimental and theoretical models of combustion processes. The physics of combustion and explosion. 2010. 46. (5). P. 65-70.

478. Fialko N.M., Prokopov V.G., Alioshko S.A., Abdulin M.Z., Rokitko K.V., Maletska O.E., Milko E.I., Olkhovska N.N., Regragui A., Evtushenko A.A. Computer simulation of flow in microjet burner devices with asymmetric supply of fuel. Scientific Bulletin of UNFU. 2018. 28(8). P. 117-121.

479. Slish M.Ya., Granovskaya E.A. On the acoustic instability of the combustion process in the system of stabilizers. XI International Scientific and Practical Conference of Aspiration Students, Magistrants, Students “Advanced Technologies in Thermal Energy”, 16–19 april, 2013, Kyiv, NTUU “KPI”. P. 101.

480. Fialko N.M. Aleshko S.A., Sherenkovsky Ju.V., Meranova N.O., Timoshchenko A.B., Abdulin M.Z., Butovsky L.S. Efficiency of cooling systems of jet-stabilizer burner devices. Technological systems. 2012. 58/1. P. 52-57.

481. Fialko N.M., Prokopov V.G., Alioshko S.A., Polozenko N.P., Timoshchenko A.B., Abdulin M.Z., Maletskaya O.E., Nochovny A.V. Analysis of the influence of the geometric shape of the niche cavity on the aerodynamic drag of the channel. Industrial heat engineering. 2012. 34. №1. P.72-76.

482. Polezhaev Yu.V., Mostinsky I.L., Goryainov D.A., Gabbasova G.V., Korshunov A.V. Modeling of turbulent combustion of gas jets. Thermophysics of high temperatures. 2007.45. № 4. P.552-556.

483. . Fialko N.M., Alioshko S.A., Rokitko K.V., Maletskaya O.E., Milko E.I., Kutniak O.N., Olkhovska N.N., Regragui A., Donchak M.I., Evtushenko A.A. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply. *Technological Systems*. 2018. №3 (38). P.37-43

484. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovsky Ju.V. Alyoshko, S.A, Meranova N.O., Abdulin M.Z., Butovsky L.S., Mirgorodsky A.N. Computer modeling of transfer processes in cooling systems of stabilizer type burners. *Industrial Heat Engineering*. 2012. №1. P. 64-71. <http://dspace.nbuu.gov.ua/handle/123456789/59056>

485. Fialko N.M. Sherenkovsky Ju.V., Prokopov V.G., Polozenko N.P., Meranova N.O., Alioshko S.A., Ivanenko G.V., Yurchuk V.L., Milko E.I., Olkhovskaya N.N. Modeling the flow structure in echeloned stabilizer gratings with varying pitch of their displacement. *East European Journal of Advanced Technologies*. 2015. 2/8. P. 29-34. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.39193.

486. Gelan Yang, Huixia Jin, Na Bai. A numerical study on premixed bluff body flame of different bluff apex angle. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*. 2013. Article ID 272567. 9 p.

487. Fialko N.M., Sherenkovsky Yu.V., Mayson N.V., Meranova N.O., Abdulin M.Z., Butovsky L.S., Polozenko N.P., Klisch A.V., Strizheus S.N., Timoshchenko A.B. The influence of plate flow turbulators on the flow characteristics and mixture formation of fuel and oxidizer in a cylindrical stabilizer burner device. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2014. 6 (24). P.114-121. ISBN 5-7763-2435-1.

488. Fialko N.M., Sherenkovsky Yu.V., Prokopov V.G., Aleshko S.A., Meranova N.A., Rokitko K.V. CFD modeling of temperature conditions of the combustion zone of stabilizer-type burners with asymmetric fuel supply. *Thermophysics and heat engineering*. 2019. 41. №4. P.13-18. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019>.

489. Kovalenko T., Lys S., Vostres V. Analysis of eddy-current testing and metallographic examinations for corrosion damages of heat exchanging tubes in NPP steam generators // *Енергетика та системи керування*. – 2020. – Vol. 6, №1. – С. 7–15.

490. Theoretical aspects of modern engineering : collective monograph / Kovalenko T., etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2020. – 356 p.

491. I.M. Neklyudov, V.M. Azhazha, A.S. Mytrofanov, L.S. Ozhyhov, E.A. Kraynyuk, V.H. Lesnaya, P.A. Mishchenko. Atlas ekspluatatsiynykh ekspluatatsiy v teploobminnykh trub paroheneratoriv AÉS z reaktoramy typu VVÉR: Spravochnyk-kataloh. Intelektual'na vlasnist' NNTS KHFTY, Svit·stvo № 20514, Khar'kov, 2012, c. 237. in Ukrainian

492. V.N. Voevodyn, A.S. Mytrofanov, S.V. Hozhenko, R.L. Vasylenko, I.N. Shapoval, E.A. Kraynyuk, A.V. Bazhukov, A.N. Paliy, P.E. Mel'nyk. Analiz danykh kontrol'ovanykh teploobminnykh trub paroheneratoriv PHV-1000 na YUU AÉS // Voprosy atomnoyi nauky ta tekhniky, 2018, № 5 (117), S. 82–86. in Ukrainian

493. Jarmila Degmová, Július Dekan, Vladimír Slugeň, Constanze Thees, Ivan Smieško, Pavol Šeliga. Analysis of Steam Generators Corrosion Products from Slovak NPP Bohunice // International Journal of Corrosion, 2012, Volume 2012, P. 1–6.

494. Georgy Shimov, Andrey Serebryakov, Alexander Serebryakov. Experimental Study of the Method for Resistance Heat Treatment of Tubes for Steam Generator // Key Engineering Materials, 2017, Vol. 74, P. 141–147.

495. Амоша О.І., Гріньов В.Г., Вовченко А. Р. Проблеми вибору концепції розвитку вугільної промисловості України. Економіка промисловості. 2005. № 2(28). С. 32-38.

496. Амоша О.І., Логвіненко В.І. Актуальні проблеми розвитку вугільної промисловості. Економіка України. 2006. № 12. С. 4–11.

497. Концепція реформування та розвитку вугільної промисловості на період до 2020 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250358427>.

498. Закон України №2404-VI. Про державно-приватне партнерство. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2404vi-11736>.

499. Tehnicheskaya harakteristika i ustroystvo kotloagregata TP-100. Harkov.1985.

500. ASME PTC «Nagrevatel vozduha. Dopolneniya k pravilam provedeniya ispytaniy dlya opredeleniya ekspluatatsionnykh karakteristik kotelnykh ustanovok» p.4.3, 1991.

501. Pravyla texnichnoyi ekspluatatsiyi elektrychnykh stancij i merezh. Posibnyk. Tom I i II/ Za red. J.S. Mysaka. – K.: OEP „GRIFRE”, 2008. – 1110 p.

502. Texnichna ekspluatatsiya elektrychnykh stancij i merezh. Pravyla. GDK 34.20.507. – K.: OEP „GRIFRE”, 2003. – 508 p.

503. Trembovlya V.I. i dr. Teplotehnicheskie ispytaniya kotelnykh ustanovok. – M.: «Energiya», 1977.- 290 p.

504. ГДК 34.09.103-96 «Rozrachunok zvitnykh texniko-ekonomichnykh pokaznykiv elektrostancij pro teplovu ekonomichnist ustatkuvannya. Metodychni vkazivky». Kyiv, 1996.

505. Gut P., Klub M., Dobryanskyj Yu. Vyprobuvannya regeneratyvnykh povitropidigrivnykiv typu РПП-54М2 kotla ТПП-100 st.№7. //Texnichnyj zvit. inv. №18826/2897. LvivORGRES, 2012.

506. Сигарев Е. Н. Определение параметров раздувки шлаковой ванны на футеровку конвертера / Е. Н. Сигарев, К. Г. Низяев, Н. К. Сигарев [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2016. - №3. - С. 31-36.

507. New system for applying a slag coating to the converter lining / A. G. Chernyatevich, E. N. Sigarev, I. V. Chernyatevich [a. o.] // Steel in Translation. – 2017. - V.47, №6. - pp. 394-398.

508. Сигарев Е. Н. Компьютерное моделирование нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера при изменении положения фурмы / Е. Н. Сигарев, А. Н. Сокол, Н. Н. Недбайло // Математичне моделювання. - 2015. - №1. - С.15-17.

509. Исследование влияния тугоплавких частиц в шлаке на адгезию к огнеупору / Е. Н. Сигарев, Н. Н. Недбайло, А. А. Похвалитый, А. В. Довженко // Металл и литье Украины. - 2018. - № 11-12 (306-307). – С. 1-8.

510. Сигарев Е. Н. Компьютерное моделирование теплового состояния системы «гарнисаж - футеровка» с учетом неравномерности её толщины / Е. Н.

Сигарев, А. Н. Сокол, Н. Н. Недбайло // Математичне моделювання. - 2016. - №2(35). - С. 70-73.

511. Temperature Field Distribution Analysis for Cargo Oil. W. Wenfeng, Z. Jiakuo, L. Jinshu, G. Jialin, S. Fan, D. Jiajia, W. Dongze. Thermal science. 2020. Vol. 24, No. 5B. Pp. 3413-3421.

512. Microwave treatment in oil refining. A. Porch, D. Slocombe, J. Beutler, P. Edwards, V. Kuznetsov. Appl Petrochem Res. 2012. Vol. 2. Pp. 37–44.

513. Z. H. Jin, Research on Heating and Heat Preservation Process of Tanker Cargo based on fluent Platform. Dalian Maritime University. 2006. Pp. 42-46.

514. S. Akagi, H. Kato. Numerical Analysis of Mixed Convection Heat Transfer of a High Viscosity Fluid in a Rectangular Tank with Rolling Motion. International Journal of Heat and Mass Transfer. 1987. Vol. 30, No. 11. Pp. 2423-2432.

515. S. Wei. Numerical Simulation of Steam Coil Heating Process for Large Floating Roof Oil Tank. Chemical Engineering. 2016. No. 7. Pp. 19-23.

516. M. Macagnan. Natural-Convection in a Tank of Oil: Experimental Validation of a Numerical Code with Prescribed Boundary Condition. Experimental Thermal and Fluid Science. 2005. Vol. 29, No. 6. Pp. 671-80.

517. W. P. Hu. Heat Transfer and Fluidity of Highly Viscous and Solid Crude-Oil in Shipwreck Tanks. Ph. D. thesis, Dalian Maritime University, Dalian, China. 2015. 182 p.

518. X. Zhu , et al. Numerical Simulation of Flow Characteristics during Oil Tanker Cargo Heating, Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science). 2018. Vol. 37, No. 1. Pp. 55- 59.

519. R. P. Yan et al. Research Progress of Industrial Microwave Sterilization Technology in the Field of Food Processing. Science and Technology of Food Industry. (2018), Vol. 39? No. 8. Pp. 302-308.

520. C. S. Fang, P. Lai. Microwave-Heating and Separation of Water-in-Oil Emulsions. Microwave Power Electromagnetic Energy. 1995. Vol. 30, No. 1. Pp. 46-57.



521. R. J. Davidson. Electromagnetic stimulation of Lloydminster heavy oil reservoirs: field test results. *Journal of Canadian Petroleum Technology*. 1995. Vol. 34, No. 4. Pp. 15–24.

522. A. Mukhametshina, E. Martynova. Electromagnetic Heating of Heavy Oil and Bitumen: A Review of Experimental Studies and Field. Applications *Journal of Petroleum Engineering*. 2013. 7 p.

523. И.Ф. Домнин, М.М. Резинкина. Расчетное исследование тепловых процессов при высокочастотном нагреве нефтепродуктов. *Вісник НТУ “ХПІ”*. 2013. № 33. С. 51-55.

524. Э.Васильев, О.Морозов, С.Степанов, В.Цыбко. СВЧ-разогрев загустевших нефтепродуктов в железнодорожных цистернах. *Электроника для ТЭК*. 1999. № 6. 9 с.

525. Б. Ф. Афанастев. Устройство для нагрева загустевших и застывших нефтепродуктов в железнодорожных цистернах. Патент RU 2 224 387 C2 от 11.14.2001.

526. Д. А. Боднарчук. Устройство для разогрева и слива высоковязких нефтепродуктов из цистерны. Патент RU 2 538 657 C2 от 07.12.2012.

527. A. Sahni, M. Kumar, R.V. Knapp. Electromagnetic heating methods for heavy oil reservoirs // *Proc. of Society of Petroleum Engineers SPE/AAPG. Western Regional Meeting, Long Beach (CA) 62550*. 2000. 12 p.

528. Домнічев М.В. Розробка технології знепилювання хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу /Домнічев М.В. / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – Криворізький технічний ун-т.- Кривий Ріг, 2010. 129с.

529. Бересневич П.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ / П.В. Бересневич, Н.Г. Кузьменко, Н.Г. Неженцева. – М.: Недра, 1993. – 128 с.

530. Нестеренко О. В. Підвищення ефективності знепилювання автомобільних доріг у кар’єрах. / Нестеренко О.В. / Дисертація на здобуття

наукового ступеня кандидата технічних наук – Криворізький технічний ун-т.-  
Кривий Ріг, 2008. 130с//

531. Черконос А.И. К вопросу пылеподавления на хвостохранилищах Криворожских горно-обогатительных комбинатов / А.И.Черконос, В.А.Михайлов, В.Г.Борисов. / «Вентиляция и очистка воздуха». – Вып. 5. – М. : Недра. – 1969. – 65 с.

532. Смокоткина Г.Н. Влияние хвостохранилищ Джезказганского горно-металлургического комбината на воздушный бассейн г. Джезказгана и санитарно-бытовые условия жизни населения / Г.Н.Смокоткина // Сб. научных статей «38 итоговая научная конференция Казахского мединститута», Алма-Ата. – 1966. – 128 с.

533. Даулбаев Ф.А., Шанина Т.Н. К вопросу о влиянии хвостохранилища обогатительной фабрики комбината «Ачполиметалл» на внешнюю среду / Ф.А.Даулбаев, Т.Н.Шанина.// Сб. научных статей «38 итоговая научная конференция Казахского мединститута», Алма-Ата. – 1966. –128 с.

534. Домнічев М.В. Проведення біологічної рекультивації діючих хвостосховищ. М.В. Домнічев, М.І. Малаховський, Т.О. Негрій, О.В. Нестеренко, О.Ю. Близнюкова // Збірник наукових праць «Вісті Донецького гірничого інституту» №1 (46), 2020 – С. 172-180.

535. Тищук В.Ю. Використання засобів біотехнології для пилоподавлення у кар'єрах. / В.Ю.Тищук // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сталий розвиток промисловості і суспільства» ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг. – 2014. – 251с.

536. Разработка рекомендаций по уменьшению пыления хвостохранилища ОАО «СевГОК» : Отчет по НИР (Заключительный) / ПО НТС ГП «НИГРИ» Кривой Рог, 2008. – 74 с.

537. Мульчування. Сайт «Вікіпедія». [Електронне джерело]  
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%87%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F>

538. Водородная стратегия для климатически нейтральной Европы: <https://www.b2eu-consulting.eu/news-detail/the-hydrogen-strategy-for-a-climate-neutral-europe> URL: (дата звернення 11.03.21)

539. С. Кудря, О. Риепкин, Л. Яценко, Л. Шинкаренко, М. Ткаленко. Концепція дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року. № 4 (59) (2019): Науково-прикладний журнал Vidnovluvana energetika. С 22-28.

540. Сигал И.Я., Смихула А.В., Сигал А.И, Марасин О.В. Исследование воздействия струй газа при стабилизации фронта пламени на вертикальной поверхности. Энергетические технологии и ресурсосбережение. 2020. № 4. С. 29–38. URL: <http://nfv.ukrintei.ua/view/5b1925e37847426a2d0ab78a>

541. Сігал О.І., Ніжник Н.А. Перспективи використання водню у промислових процесах спалювання. Київ – Теплофізика і теплоенергетика, 2020, №3. DOI: <https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2020.8>.

542. Тепловой расчёт котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н. В. Кузнецова и др., Москва: «Энергия», 1973. – 256

543. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.

544. Татаринский С. Н., Шаповалов Д. О., Носов А. С., Бритков А. В., Носов О. С., Свириденко В. И., Горбанов Н. А., Булгаков В. А. РРЛ с единой системой единого точного времени// 19th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. - CriMiCo’2009

545. Ермаков Г.В. Анализ точности измерения координат воздушных целей при разностно-дальномерном методе пассивной радиолокации / Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.М. Телюков // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. ХУПС. – Вип.8(98). - Х.: ХУПС, – 2011. – С.70 74.

546. Trofimova Y. Multilateration Error Investigation and Classification. Error Estimation / Y. Trofimova // Transport and Telecommunication. – 2007. – № 2, Vol.8. – P. 29–37.

547. Техника контроля и местоопределения источников излучения импульсов. Отчет о проектировании комплексного технического решения / ШПИР. 464339.002 ПЗ – ЛУ. ЛНИРТИ – Львов, 2002. – 316 с.

548. Синявський А.Т. Метод просторової фільтрації сигналу від джерела випромінювання, розташованого над розсіюючою поверхнею / А.Т. Синявський, В.П. Антонюк, В.Г. Грек, М.В. Лобур, Є.І. Клепфер // Радиоелектроника и информатика. 2006. – С. 16 – 20.

549. George A. Mizusawa. Performance of hyperbolic position location techniques for code division multiple access. - Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1996. - 131 p.

550. Ермаков Г.В. Уточнение числовых значений параметров законов распределений ошибок в процессе измерения координат при разностно-дальномерном методе пассивной локации / Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.Н. Телюков // наук. журн. Системи озброєння і військової техніки. - Харьков. ХУПС, - 2012. – Вып. 3(31). – С. 145 – 148.

551. Вальд А. Последовательный анализ: пер. с англ. / А. Вальд. - М.: Физматгиз, 1960. – 375с.

552. Ермаков Г.В. Метод комплексирования пассивного канала с информационной системой зенитно-ракетного комплекса ближнего действия при его радиоэлектронном подавлении / Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.Н. Телюков // зб. наук. пр. Системи озброєння і військової техніки. - Харьков. ХУПС, - 2012. – Вып. 3(90). – С. 61 – 63.

553. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х.: ХВУ, 2003. – 368с.

554. Ямпольский Л.С. Обобщенный анализ применения средств воздушного нападения ОВС НАТО при проведении военной операции в Югославии «Решительная сила» и в других локальных войнах в 90-х годах: учебное пособие / Л.С. Ямпольский. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 80 с.

555. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: Наука, - 2001. – 295 с.

556. State Statute of Ukraine: [electronic resource] - available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

557. The official website of the State Statistics Service of Ukraine. Statistical information. Revenues and living conditions: [electronic resource] - available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> (Accessed 26 September 2018).

558. Klymenko, V.I. On certain issues of economic cooperation between Ukraine and China in modern conditions: [electronic resource] - available at: <http://www.niss.gov.ua/articles/1359/> (Accessed 24 September 2018).

559. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>).

560. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>.

561. Second IMO GHG Study 2009, International Maritime Organization (IMO), London, UK, April 2009. 2. MEPC 245(66). 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships. 3. MEPC.282 (70) 2016 Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP).

562. Shutpyak .K., Serov A.A., Assessment of the influence of the main ship systems on the indicators of the energy efficiency of the vessel // Scientific and technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping. 2017. - №48/49. - C. 95-103.

563. IMO MEPC 62/64/Add.1 Annex 19, Resolution MEPC.203(2), adopted on 15 July 2011.

564. Ozaki, Y. et. al., 2010: “An Evaluation of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Baseline for Tankers, Containerships and LNG Carriers,” Climate Change and Ships: Increasing Energy Efficiency, SNAME and Marine Board Symposium.

565. ISO 15016, “Ships and Marine Technology –Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data,” First Edition 2006-05-15.

566. R.A. Hartley, International Paint Co., “Hull Roughness, Antifouling Coatings and Ship Performance,” SNAME Shipboard Energy Conservation meeting, 21-22 September 1980.

567. Ship Energy Efficiency Measures advisory, ABS, 1-72 p.

568. Study on energy efficiency technologies for ships, CLIMA.B3/ETU/2014/0023r, Written by Rob Winkel, Arno van den Bos & Ulf Weddige June – 2015

569. Зовнішньоекономічна діяльність підприємств: Навчальний посібник / [Козак Ю.Г., Логвінова Н.С. та ін.]; за ред. Ю.Г. Козака, Н.С. Логвінової, М.А. Зайця. – 4-те вид., перероб. та доп. – К.: Освіта України, 2012. – 272 с.

570. Марцінковська О., Легкий О. «ІНКОТЕРМС-2010» як інструмент регулювання зовнішньоекономічної діяльності. Економічний аналіз. 2013. Т. 12(3). С. 265-268.

571. Танцюра Ю. INCOTERMS 2020: що змінилося? Юридична Газета. 2020. No9 (715). URL: <https://yur-gazeta.com/publications/practice/inshc/incoterms-2020-shcho-zminilosya.html>.

572. Трусово О. Інкотермс 2020: особливості можливого застосування. Вісник. Офіційно про податки. 2019, No27-28(1028). URL: <http://www.visnuk.com.ua/ru/news/100015209-inkoterms-2020-osoblivosti-mozhlivogo-zastosuvannya-1>.

573. Офіційний сайт Міжнародної торгової палати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iccwbo.org/>

574. Wikipedia (2020). Water transport. Free encyclopedia [Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki> Accessed on: August 24, 2020.

575. Upload (2019). Transport service for tourists (11.06.2019). StudFiles [Online]. Available: <https://studfile.net/preview/8151379/> Accessed on: August 24, 2020.

576. Studbooks. Water transport. Tourism [Online]. Available: [https://studbooks.net/1570051/turizm/vodnye\\_vidy\\_transportnyh\\_perevozok](https://studbooks.net/1570051/turizm/vodnye_vidy_transportnyh_perevozok) Accessed on: August 24, 2020.

577. Tutorials online. Transportation of tourists by water transport. Travel business. Tourism [Online]. Available: [http://uchebnikirus.com/turizm/turistichniy\\_biznes\\_-\\_malska\\_mp/perevezennya\\_turistiv\\_vodnim\\_transportom.htm](http://uchebnikirus.com/turizm/turistichniy_biznes_-_malska_mp/perevezennya_turistiv_vodnim_transportom.htm) Accessed on: August 24, 2020.

578. Wikipedia (2020). Symphony of the Seas [Online]. Available: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Symphony\\_of\\_the\\_Seas](https://ru.wikipedia.org/wiki/Symphony_of_the_Seas) Accessed on: August 24, 2020.

579. Naked Science (2017). A new generation hydrofoil vessel was launched in Russia (21.10.2017) [Online]. Available: <https://naked-science.ru/article/hi-tech/v-rossii-spustili-na-vodu-sudno-na>

580. Sergei33 (2011). The history of hydrofoils. Water club “Fregat” [Online]. Available: <http://forum.fregat.club/>

581. LJ grey\_croco (2017). The history of the Odessa sea tram (12/01/2017 20:57). Odessa Online. Articles [Online]. Available: <https://odessa.online/istoriya-odesskogo-morskogo-tramvajch/> Ac

582. Smith S. (2014). Sea terminal Ochakov (04/16/2014). Ochakov portal. Articles [Online]. Available: <http://www.ochakiv.info/articles/5091881566339072>

583. Velmozhko A. (2013). From Odessa – on hydrofoils? (07/31/2013 16:23). Timer. Articles [Online]. Available: [http://timer-odessa.net/statji/iz\\_odessi\\_na\\_podvodnih\\_kril\\_yah\\_264.html](http://timer-odessa.net/statji/iz_odessi_na_podvodnih_kril_yah_264.html)

584. DHS (2017). They want to launch high-speed hydrofoils from the Kherson region to Odessa (01/30/2017 16:23). Center for Transport Strategies. News [Online].

Available:

[https://cfts.org.ua/news/2017/01/30/iz\\_khersonskoy\\_oblasti\\_v\\_odessu\\_khotyat\\_zapus\\_tit\\_skorostnye\\_katera\\_na\\_podvodnykh\\_krylyakh\\_38756](https://cfts.org.ua/news/2017/01/30/iz_khersonskoy_oblasti_v_odessu_khotyat_zapus_tit_skorostnye_katera_na_podvodnykh_krylyakh_38756)

585. Яковлев В. Ф. Диагностика электронных систем автомобиля. Учебное пособие. М.: СОЛОН-Пресс, 2003, 272 с.

586. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

587. Исмаилов Ш.К. Тепловое состояние тяговых и вспомогательных электрических машин электровозов постоянного и переменного тока. – Омск, 2001. – 175 с.

588. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. – Л.: Энергия, 1967. – 432 с.

589. Носов, В.В. Диагностика машин и оборудования: учебное пособие / В.В.Носов. - 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 384 с.

590. Есаулов С.М. Проектирование компонентов для систем автоматического диагностирования транспорта. / С.М. Есаулов, О.Ф. Бабичева, Н.П. Лукашова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Вып.5/3(41).– 2009. – С.28–32.

591. Есаулов С.М., Бабичева О.Ф., Ковалик М.М. Контроль і моделювання параметрів для теплової діагностики порушень силового електрообладнання. – Комунальне господарство міст. – К.:Техніка. Вып.3(149). - 2019. – С.19-28.

592. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. – М.: Солон-Р, 2005. -412 с.

593. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы / Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 460 с.

594. Симбирский Г. Д. Метод измерения высоких (до 2500 К) температур газовых потоков на основе адаптивных редуционных проточных термопреобразователей: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн.



наук: спец. 05.14.05 „Методы и способы измерения тепловых величин" / Г. Д. Симбирский – Х., 1993. – 19 с.

595. Температурные измерения / О.А. Геращенко, А.Н. Гордов, В.И. Лах, Н.А. Ярышев. – К.: Наукова думка, 1984. – 494 с.

596. Точность контактных методов измерения температуры / А.Н. Гордов, Я.В. Малков, Н.Н. Эргард, Н.А. Ярышев. – М.: Изд. стандартов, 1976. – 232 с.

597. Симбирский Д.Ф. Измерение высокой температуры газа как обратная задача сложного теплообмена / Симбирский Д.Ф., Петашвили О.М., Павлюк Е.В. / Экспериментальные методы термопрочности и диагностика газотурбинных двигателей: сб. научн. тр. – Харьков : ХАИ. – 1986. – С. 3–22.

598. Симбирский Г.Д. Применение цифрового фильтра Калмана для параметрической идентификации измерительных устройств [Текст] / Г.Д. Симбирский, И.И. Иванов // Информационные процессы и технологии “Информатика – 2013”: материалы VI Международной науч.-практ. конференции молодых ученых и студ., 22–26 апреля 2013 г. Севастополь/ С.В. Доценко (ред.). – Севастополь: Изд-во «Вебер», 2013. –260 с. – С. 176–177.