International Science Group
ISG-KONF.COM

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF MODERN ENGINEERING

MONOGRAPH

DOI 10.46299/ISG.2020.MONO.TECH.I
ISBN 978-1-64871-656-0
BOSTON (USA) – 2020

ISBN - 978-1-64871-656-0
DOI - 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.I

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF MODERN ENGINEERING

Monograph

Boston 2020

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data
ISBN - 978-1-64871-700-0
DOI- 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.I

Автори - Sokolovskaya O., Ovsiannykova L., Valevskaya L., Orlova S., Kalaida K., Zabolotna A., Pyrkalo V., Lanzhenko L., Dets N., Kruchek O., Tkachenko N., Izbash Y., Lozova T., Odarchenko D., Sokolova E., Karbivnycha T., Spodar K., Kovalevska N., Oliinyk S., Samchenko I., Tarasiuk L., Ostryk O., Kuts A., Sots S., Kustov I., Kuzmenko Y., Topchii O., Pasichnyj V., Demydchuk L., Sapozhnyk D., Havrysh B., Tsutsa N., Zherebetska O.,Velykholova B. Lavrenenko S., Lytvynenko Y.,Merlak O., Lukianchenko O., Kostina O., Makarenko A.,Shcherbak I.,Garyazha V.,Korobka V., Masliennikov A., Duniev O., Yehorov A., Постнікова М. В., Koman B., Yuzevych V., Oksanych A., Prytchyn S., Kohdas M., Dernova M., Mandrichenko O., Holotiuk M., Pakharenko V., Tkhoruk Y., Doroshchuk V., Babich Y., Kyianovskyi A.,Koren E., Melnik O.,Romanyuk O.,Romanyuk O.,Savratsky V., Vyatkin S., Romanyuk O., Mykhaylov P., Chekhmestruk R., Romanyuk O., Perun I., Denysiuk S.,Melnychuk H., Lemeshev M., Khrystych O., Cherepakha D., Beliuchenko D., Burmenko A., Loboichenko V., Maxsymov A., Hilov V. Tkach N., Poltoratska V., Troshyn M., Voloshko V., Sankov P., Yuri Z., Boris M., Larisa P., Viktor Z., Shevchuk V., Pidgaychuk S., Blinnikov G., Demianuk K., Strelets V., Kusyi Y., Oleh L., Andrij K., Olha K., Iurii N., Shvets L., Halushchak I., Kniaziev V., Nemchenko Y., Savitskiy V., Sliusar I.,Slyusar V., Bogdanova L. O. Korovkina A. A., Lisitsin V., Safoshkina L., Poberezhnyi A., Safoshkin A., Salavelis A. D.,Tezhenko L. M.,Pavlovsky S. M., Golinska Y. A., Vasylenko O.,Stashenko M., Polonskaja O.,Namchuk A.,Smarev I., Bronnikova S., Kazak V., Shevchuk D., Prokhorenko I., Tymoshenko N., Polozaenko S., Rudkovsky O., Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Prokudin O., Maidanik K., Shvets L., Usacheva O., Votinov M., Smirnova O., Stetsiuk V.

Published by Primedia eLaunch
https://primediaelaunch.com/

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

The recommended citation for this publication is:
Scientific foundations of modern engineering: monograph / Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. & Stetsiuk V., etc – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2020. 528 p. Available at : DOI : 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.I

TABLE OF CONTENTS

1	SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY	11
1.1	Sokolovskaya O., Ovsiannykova L., Valevskaya L., Orlova S. RESEARCH HYGROSCOPIC PROPERTIES OF MILLET	11
1.2	Kalaida K., Zabolotna A., Pyrkalo V. SUITABILITY OF NEW AND APPRECIABLE VARIETIES OF SWEET PEPPER FRUITS FOR STORAGE	18
1.3	Lanzhenko L., Dets N., Kruchek O., Tkachenko N., Izbash Y. STAGES OF THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF HACCP IN THE PRODUCTION OF HARD CHEESE WITH BIFIDOBACTERIA	23
1.4	Lozova T. RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF INHIBITION OF OXIDATION PROCESSES IN FOODS	29
1.5	Odarchenko D., Sokolova E., Karbivnycha T., Spodar K., Kovalevska N. FORMATION OF COMMODITY PROPERTIES OF FROZEN SEMI-FINISHED PRODUCT FOR SMOOTHIES BASED ON FRUIT-AN- BERRY RAW MATERIALS	33
1.6	Oliinyk S., Samchenko I., Tarasiuk L., Ostryk O., Kuts A. IMPROVING THE TECHNOLOGY OF PURIFICATION AND STABILIZATION OF LIQUEUR-VODKAS PRODUCTION	41
1.7	Sots S., Kustov I., Kuzmenko Y. RECOMMENDATIONS FOR PROCESSING NAKED OATS INTO FLAKED PRODUCTS	50
1.8	Topchii O., Pasichnyj V. DEVELOPMENT OF FORMULATION MULTICOMPONENT PROTEIN-FAT EMULSION	54

2	SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGY	65
2.1	Demydchuk L., Sapozhnyk D. CHANGE OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF REINFORCED CONCRETE AT HEATING DEPENDING ON A KIND OF THE PROTECTIVE COVERING	65
3	SECTION 3. COMPUTER SCIENCE	70
3.1	Havrysh B., Tsutsa N., Zherebetska O.,Velykholova B. FEATURES OF FILTERS APPLICATION FOR IMAGE PROCESSING	70
3.2	Lavrenenko S., Lytvynenko Y.,Merlak O. THE USE OF MIXED-TYPE FLAT TREES IN DATA PROCESSING IN COMPUTER PROGRAMS	74
3.3	Lukianchenko O., Kostina O. CURVILINEAR FINITE-ELEMENT MODELING IN STABILITY PROBLEMS OF THIN SHELLS WITH SHAPE IMPERFECTIONS	81
4	SECTION 4. ELECTRICAL ENGINEERING	87
4.1	Shcherbak I.,Garyazha V.,Korobka V. OPTIMIZATION MODEL OF POWER MANAGEMENT OF CONSUMERS-REGULATORS FOR EQUALIZATION OF THE TOTAL GRAPH OF ELECTRIC LOAD OF TRANSFORMER SUBSTATION 10/0,4 KV	87
4.2	Masliennikov A., Duniev O., Yehorov A. DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF TRANSVERSE MAGNETIC FLUX MACHINE WITH A DISK ROTOR	93

4.3	Постнікова М. В. ОЦІНКА ЕНЕРГОЄМНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА	106
5	SECTION 5. ELECTRONICS	113
5.1	Koman B., Yuzevych V. REGULARITIES OF INTERPHASE INTERACTION AND MECHANICAL STRESSES IN SUBSURFACE LAYERS OF SOLID-STATE STRUCTURES OF MICRO-AND NANOELECTRONICS	113
5.2	Oksanych A., Prytchyn S., Kohdas M., Dernova M. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR CREATING OHMIC CONTACT TO POROUS GAAS	134
6	SECTION 7. ENGINEERING GRAPHICS	139
6.1	Mandrichenko O. APPLICATION OF AUTOMATED DESIGN SYSTEMS IN GRAPHIC TRAINING OF STUDENTS	139
7	SECTION 7. ENGINEERING IN AGRICULTURAL PRODUCTION	144
7.1	Holotiuk M., Pakharenko V., Tkhoruk Y., Doroshchuk V., Babich Y. INVESTIGATION OF MACHINE PARAMETERS FOR DESTRUCTION OF HOMOGENEOUS FROZEN ENVIRONMENTS	144
8	SECTION 8. INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION	150
8.1	Kyianovskyi A.,Koren E. DECISION SYSTEMS IN THE DESIGN OF ELECTRICAL MACHINES	150

8.2	Melnik O.,Romanyuk O.,Romanyuk O.,Savratsky V. APPLYING OF HEXAGONAL RASTER IN IMAGE FORMATION	160
8.3	Vyatkin S., Romanyuk O., Mykhaylov P., Chekhmestruk R., Romanyuk O., Perun I. INTELLIGENT IMPLANTS IN ORTHOPEDIC SURGERY	169
9	SECTION 9. INNOVATIVE TECHNOLOGIES	181
9.1	Denysiuk S.,Melnychuk H. DECENTRALIZATION OF CITY ENERGY SUPPLY SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF TECHNOLOGICAL TRANSFORMATIONS AND FORMATION OF INTELLECTUAL CITIES (SMART CITY)	181
9.2	Lemeshev M., Khrystych O., Cherepakha D. PERSPECTIVE DIRECTION OF RECYCLING OF INDUSTRIAL WASTE IN THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS	205
10	SECTION 10. LIFE SAFETY	211
10.1	Beliuchenko D., Burmenko A., Loboichenko V., Maxsymov A. SPECIFICS OF THE MULTIVARIATE SIMULATION EVALUATION OF THE SYSTEM “RESCUER - EMERGENCY EQUIPMENT - EMERGENCY” FUNCTIONING	211
10.2	Hilov V. Tkach N., Poltoratska V., Troshyn M., Voloshko V. ACOUSTIC SAFETY AS AN INTEGRAL PART OF THE ASSESSMENT OF THE QUALITY AND LIFE SAFETY OF THE POPULATION OF URBAN AREAS	215

10.3	Sankov P., Zakharov Yu., Makovetsky B., Palagina L.,Zaporozhets V . URBAN-ANALYSIS ANALYSIS OF THE FORMATION OF A "SMART CITY" ON THE TERRITORY OF A LARGE MUNICIPAL FORMATION ON THE EXAMPLE OF SOME CITIES OF THE WORLD	219
10.4	Shevchuk V., Pidgaychuk S., Blinnikov G., Demianuk K. MONITORING OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION OF THE TERRITORY OF THE MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTION BY THE METHOD OF LICHENINDICATION	224
10.5	Strelets V. LABORATORY STUDIES OF THE RELIABILITY OF EMERGENCY PREVENTION MATHEMATICAL MODEL WITH THE THREAT OF IMPULSE RELEASE OF HAZARDOUS CHEMICALS	234
11	SECTION 12. MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING	240
11.1	Kusyi Y., Lychak O., Kuk A., Кostiuк O., Novitskyi I. DEVELOPMENT A BLANK PRODUCTION TECHNOLOGY IN A STRUCTURAL MODEL OF A LIFE CYCLE OF A PART TAKING INTO ACCOUNT MECHANICS OF TECHNOLOGICAL INHERITABILITY	240
11.2	Shvets L. EXTENSION VALUE, WITH HOT ROLLED ALUMINUM ALLOY SPECIMENS, ROUND SECTION IN SMOOTH ROLLERS	252

12	SECTION 12. METALLURGY AND ENERGY	263
12.1	Halushchak I. NUMERICAL INVESTIGATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN THE BANKS OF TUBES WITH PUNCHED SPIRAL FINNING	263
13	SECTION 13. METROLOGY, STANDARDIZATION AND CONFORMITY ASSESSMENT	311
13.1	Kniaziev V., Nemchenko Y. SENSOR FOR MEASURING CONDUCTIVE INTERFERENCE	311
13.2	Savitskiy V. RESEARCH OF THE WORK OF NEW «ONYX» MODIFICATIONS	322
14	SECTION 14. RADIO ENGINEERING	327
14.1	Sliusar I.,Slyusar V. MARQUEE TYPE DUAL-BAND DIELECTRIC RESONATOR ANTENNA FOR RADAR AND COMMUNICATION APPLICATIONS	327
15	SECTION 15. REPAIR AND RECONSTRUCTION	337
15.1	Bogdanova L. O. Korovkina A. A. RECONSTRUCTION AS A METHOD FOR SAVING ART NOUVEAU OBJECTS IN THE STRUCTURE OF THE LARGEST CITY	337
16	SECTION 16. SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF MODERN ENGINEERING	343
16.1	Lisitsin V., Safoshkina L., Poberezhnyi A., Safoshkin A. PROCESS OF CLUSTERS CREATING ON THE DIGITAL MAP	343
16.2	Salavelis A. D.,Tezhenko L. M.,Pavlovsky S. M., Golinska Y. A., SPECIALIZED FOOD BAGS FOR ENTERAL FOOD	407

17	SECTION 17. HISTORY	421
17.1	Vasylenko O.,Stashenko M., Polonskaja O.,Namchuk A.,Smarev I. GOLDEN DIVISION ACT. HISTORY	421
18	SECTION 18. TRANSPORT	435
18.1	Bronnikova S., THE RELEVANCE OF THE INTEGRATION OF MULTIFUNCTIONAL COMPLEXES IN THE RAILWAY INFRASTRUCTURE	435
18.2	Kazak V., Shevchuk D., Prokhorenko I., Tymoshenko N. SELF-RECOVERY OF THE CONTROLLABILITY OF THE AIRCRAFT RECEIVING DAMAGE TO EXTERNAL CIRCUITS IN FLIGHT BASED ON THEIR TEMPERATURE CONDITION	439
18.3	Polozaenko S., Rudkovsky O., MATHEMATICAL MODELS OF NON-TRACTION ROLLING STOCK OF THE RAILWAY AND THE CONDITION OF CARGOES TRANSPORTED BY IT	454
18.4	Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Prokudin O., Maidanik K. OPTIMIZATION OF CARGO TRANSPORTATION IN INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS BY SIMPLEX METHOD	459
18.5	Shvets L., DEVELOPMENT OF RAILWAY STATION ARCHITECTURE COMPLEXES OF THE SMALL CITIES.	468
18.6	Usacheva O. IMPROVING THE FORMATION OF THE RECREATIONAL ENVIRONMENT FOR CHILDREN IN THE INFLUENCE AREA OF THE SMALL RAILWAY ON THE EXAMPLE OF UKRAINE	475

18.7	Votinov M. A., Smirnova O.V. FEATURES OF RENOVATION AND HUMANIZATION PEDESTRIAN AND TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE CITY	479
19	SECTION 19. RADIO ENGINEERING	484
19.1	Stetsiuk V. 48 IMPROVEMENT OF VIBRO-FREQUENCY STABILITY OF AUTO-GENERATOR PIEZO-RESONANCE DEVICES IN THE MODE OF MULTI-FREQUENCY EXCITATION OF QUARTZ RESONATORS	484
	References	492

SECTION 1.
FOOD TECHNOLOGY

1.1 Research hygroscopic properties of millet

Climate change is observed in Ukraine: air temperature has become higher, moisture supply reserves have decreased, frequent droughts that may occur at different periods during the growing season. Increasingly, weather conditions play a major role in obtaining a competitive crop, and the level of money spent is growing every year. Therefore, it is necessary to look for an alternative to supplement the crop rotation of more drought tolerant crops in order to reduce the risk of crop failure. And one of such crops is millet, the value of which is determined by practically waste-free production, since its processed products are used in various industries, in particular in food, pharmaceutical, microbiological, as well as for fodder production [1,2].

It should be noted that for post-harvest processing and storage of grain and grain seeds, hygroscopic properties are of great importance. So, grain and seeds of all cultures are able to absorb (absorb) from the environment vapors of various substances and gases. Under certain conditions, a partially or completely reverse process of the release (desorption) of these same substances into the environment is possible. The result of the sorption process is the acquisition of foreign odors by the grain. Sorption and desorption of water vapor characterizes the hygroscopic properties of grain. Patterns reflecting the hygroscopic properties of grain underlie the technology of storage, drying, active ventilation and other operations on the processing of grain masses [3].

The sorption properties of the grain are due to its capillary-porous structure and the ability of the chemicals included in it to absorb and retain a strictly defined amount of water. The grain is a porous body penetrated by microscopic channels through which vaporous moisture can move. The inner surface of the walls of the capillaries is active, it has a large number of active centers with free energy, which ensures the absorption and retention of water molecules [4-10].

In the process of sorption and desorption, the grain interacts with the air of the atmosphere and intergranular spaces. The direction of moisture exchange and its intensity depend on the moisture content of grain and air. The reason for the occurrence of moisture exchange is the difference in pressure of water vapor in the air and above the surface of the grain. If there is a marked gradient, moisture from the zone of greater pressure tends to move to the zone with less pressure. Thus, drying will occur in all cases when the partial pressure of water vapor at the surface of the grain is greater than the partial pressure of water vapor in the ambient air. If the vapor pressure at the grain surface is lower than in air, the grain will be moistened. The technological process of operation of grain dryers is based precisely on creating a significant excess of water vapor pressure over the grain surface in comparison with the air acting on it.

he process of sorption moisture exchange continues until the pressure of water vapor in the grain and air is equalized. After equality is established, a state of dynamic equilibrium sets in, and the grain moisture stabilizes. Such grain moisture is called equilibrium. The concept of equilibrium moisture is central to the characterization of the sorption properties of grain. In practice, the equilibrium grain moisture is associated not with the value of the partial pressure of water vapor, but with a simpler and more affordable indicator of relative air humidity for industrial use. The latter characterizes the degree of its moisture saturation as a percentage of the maximum possible moisture absorption for these conditions [9, 10].

Thus, equilibrium humidity is the level of moisture in the grain that is established at a given relative humidity. Equilibrium grain moisture is widely used in daily practice of processing and storage of grain.

For the practice of grain storage, changes that occur in the grain at different relative humidity are of great importance. With increasing temperature, the ability of air to absorb and retain vaporous moisture increases, i.e., with constant moisture content, it becomes drier and its relative humidity decreases. With decreasing temperature, the relative humidity of the air increases accordingly, since its ability to absorb moisture decreases.

A decrease in air temperature during night hours is always associated with an increase in its relative humidity, which causes moisture in the grain, as well as the risk of moisture in the grain mass during night-time ventilation with atmospheric air. In the afternoon, the air warms up and becomes dry, therefore, active ventilation for drying the grain can most successfully be carried out in the afternoon and evening hours, and it is better to cool the grain at night and in the morning. However, in the latter case, control over the relative humidity of the air is necessary in order to prevent grain moisture during processing [6, 8]. Under natural conditions, relative air humidity changes continuously in accordance with the daily course of temperature, as well as depending on changing weather conditions, including the seasons of the year.

In addition to the sorption change in humidity as a result of the absorption or release of vaporous moisture through the air, direct wetting or drying of the grain is possible when dropping liquid moisture (contact moisture exchange). These processes can occur simultaneously. In a grain mass with a moisture content above its maximum hygroscopicity, moisture exchange can occur only in contact as a result of the movement of drip-liquid moisture.

Scientists at the Odessa National Academy of Food Technologies (Ukraine) investigated the sorption capacity of various crops as an important factor in post-harvest processing and storage [11-13]. So, the water absorption capacity of flax seeds was investigated and it was determined that with increasing storage temperature from 5 to 25 ° C within the same relative humidity, the equilibrium humidity also increases: at φ = 55% from 6.52 to 6.91% and at φ = 75% from 7.69 to 8.01%. At a relative humidity of 55%, the equilibrium humidity occurs on the 7th ... 8th day, and at a relative humidity of 75% on the tenth day.

A number of works [12, 14] are devoted to the study of the hygroscopic properties of mustard seeds. These works present the results of studies of the equilibrium moisture content of mustard seeds at such environmental parameters: temperatures of 5, 15, 25 ° C and relative humidity of 55 and 75%, and graphs of sorption and desorption are presented. It was established that during sorption,

equilibrium humidity is reached on the 7th ... 11th day, during desorption - on the 3rd ... 6th day and it is higher than during sorption.

The work [15] presents the equilibrium moisture content of rapeseed. The isotherms of sorption and desorption of seeds of the Galitsky variety at temperatures of 3 ... 15 and 26 ° C are presented. The range of relative air humidity at which the authors conducted the experiments was 50 ... 80%. The studies were carried out with seed moisture in the range of 5 ... 14%.

The work [16] presents data on the equilibrium moisture content of sorghum grain at an air temperature of 25 ° C and a relative air humidity of 10 ... 100%. Hygroscopic properties of sorghum grains were also studied by foreign researchers. They established an equilibrium moisture content of sorghum grains of 13.9% for the average air parameters in Kentucky in September (temperature 70 oF and relative air humidity 70%) [17].

The authors of [18] established the influence of the quality of millet and its initial humidity on equilibrium humidity. In [19], data on the equilibrium moisture of millet at a temperature of 20, 30, 40, and 50 ° C are presented. and isotherms of sorption and desorption are shown. A study was made of the hygroscopic properties of millet stored at temperatures of 5, 25 and 45 ° C and relative humidity of 75 and 85% [20] and at temperatures of 30 ... 70 ° C [21]. It was found that the sorption capacity of millet decreases with increasing temperature at constant relative humidity and the most suitable model for describing the relationship between equilibrium humidity, relative humidity and temperature has been determined [22].

In the literature there is insufficient data on the hygroscopic properties of small-seeded crops, such as millet. Also, the available data do not give a complete picture of the influence of storage conditions and grain moisture on hygroscopic properties in modern climatic conditions of the south of Ukraine. Further study of sorption properties in modern conditions is relevant when carrying out processes such as drying and active ventilation of grain, as well as when laying wet and raw grain for temporary storage. Data on the sorption properties of a particular culture make it possible to correctly select the processing regimes of the grain mass and reduce its

qualitative and quantitative losses.The object of research is the hygroscopic properties of millet grain. The subject of the study is millet grain, the harvest of 2018 with an initial moisture content of 11.75%.

The purpose of the study is to determine the equilibrium moisture content of millet grain and to establish patterns of change in the equilibrium moisture of millet depending on the temperature and relative humidity of the ambient air. The air temperature range was + 5 ... 25 ° C and the relative humidity range was 33 ... 70%. These conditions, according to long-term average observation data, correspond to the cold and warm seasons in Odessa region. The studies were carried out by the tensometric method. Samples of millet in glass jars were placed in desiccators with a sulfuric acid solution of a given concentration. [23, 24]. Each concentration of sulfuric acid corresponds to a specific air humidity. Grain embedded in desiccators was stored in a refrigerator at a temperature of plus (5 ± 1) ° C and in a thermostat at a temperature of plus (25 ± 1) ° C.

Samples of millet grain were periodically weighed until it reached a constant mass, indicating a state of equilibrium. The moisture content of the sample was determined, which is the equilibrium value. The initial, current and final moisture content of the grain was determined according to GOST 29144: 2009 (ISO 711-85).

The results of approximation and smoothing of the experimental data on the kinetics of hydration for millet grain were performed on a computer using standard programs and programs developed at the Department of Grain Storage Technology ONAFT.

The experiments showed that the duration of the experiments to achieve the equilibrium state of the grain was within 13 ... 18 days. At the end of the experiments, their mathematical processing was carried out. At the same time, in parallel experiments, calculate the average values of the grain mass in boxes at each selected point in time, which were then transferred to the current grain moisture.

The experimental values of the current grain moisture were approximated by empirical equations for averaging the sorption or desorption isotherms, in which the coefficients were determined by the least squares method. Using the obtained

sorption and desorption isotherms, the equilibrium moisture of millet grains was determined for each of the values of temperature and relative air humidity in desiccators [25].

Further, the calculated equilibrium moisture content of millet grain was compared with the achieved final moisture content of the samples in each of the desiccators. The verification showed that the calculated and experimental values of the equilibrium humidity were within the experimental error. The obtained equilibrium humidity values are given in table. 1

Table 1

Equilibrium moisture content of millet grain,%

ExperienceConditions		Equilibriumhumidityw_p, %
Relativehumidity, %	Airtemperature$t$, °C	
33	5	10,91
45	5	12,45
70	5	14,75
33	25	11,22
45	25	13,03
70	25	15,1

The most complete characteristic of hygroscopic properties is the sorption isotherm — the dependence of the equilibrium grain moisture on the relative air humidity. It is known that the sorption isotherms of grain can be quite accurately described by a well-known equation of the form [13]:

$$w_p = A - B \cdot t + (C - D \cdot t)\left[\lg\left(\frac{1}{1-\varphi}\right)\right]^{0,5},$$

w_p –equilibriumseedmoisture,%,

t – ambient temperature, ° C;

φ – relative humidity,%;

A, B, C, D– are constants depending on the form of the bond of moisture with the dry matter of the grain and grain temperature and are determined by the least squares method based on experimental data.

We have determined the values of empirical coefficients A, B, C, D for millet seeds: A = 5.8604; B = -0.0222; C = 12.2559; D = 0.0040.

A visual representation of the nature of the dependence of the equilibrium moisture content of millet grain on temperature and the relative humidity of outdoor air is provided by the sorption isotherms shown in Fig. 1.

The determining factor affecting the magnitude and speed of reaching equilibrium humidity is the relative humidity of the air - the greater it is, the faster the grain absorbs moisture and the greater the equilibrium humidity. Equilibrium humidity also depends on air temperature: at the same relative air humidity and higher temperature, lower equilibrium humidity corresponds and, conversely, a lower temperature leads to an increase in the equilibrium grain moisture.

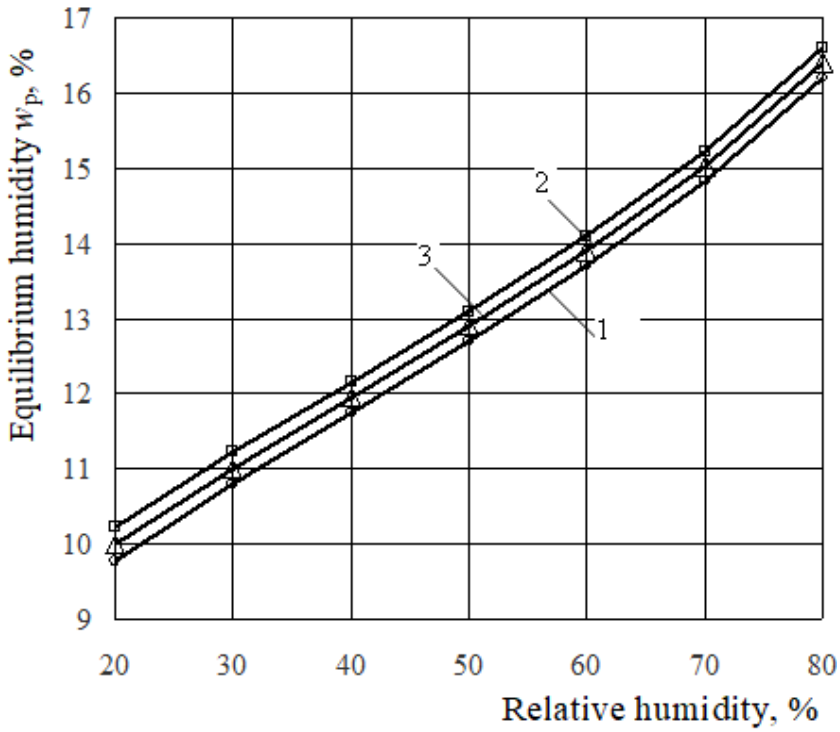


Figure 1 -Isotherms of sorption of millet grain at ambient temperature:
1 - 5 ° C; 2 - 15 ° C; 3 - 25 ° C

The numerical values of the equilibrium moisture content of millet grain in the temperature range are determined and the relative humidity corresponding to the warm and cold seasons in the Odessa region.

The nature of the change in the equilibrium moisture content of millet grain in the specified environmental parameters is established: with an increase in relative humidity and a decrease in ambient temperature, the equilibrium moisture content of millet grain increases.

An equation is proposed that allows one to predict the equilibrium moisture content of millet grain. The obtained data can be used to select the drying regimes and active ventilation of millet grain, as well as when choosing storage conditions.

1.2 Suitability of new and appreciable varieties of sweet pepper fruits for storage

Беззаперечним лідером серед овочевих культур, які за останні роки показують найбільший приріст у виробничих площах в Україні, є перець солодкий. Запорукою такого зростання популярності даної культури є стабільна середньорічна ціна реалізації, що значно підвищує економічний показник при вирощуванні, а також стале збільшення споживання населенням різних видів даного продукту [26].

У процесі селекції створено величезне розмаїття сортів за продуктивністю, ставленням до біо- та абіотичних факторів навколишнього середовища, товарними і смаковими якостями плодів, їх біохімічним складом і лежкоспроможністю [27].

Державний реєстр сортів рослин придатних для поширення в Україні поповнюється новими сортами щороку. Так, станом на 2016 р. він налічував 112 сортів, на 2017-й – 140, а на 2018-й – 133 сорти. З усіх зареєстрованих сортів лише 40 – вітчизняної селекції, зокрема правовласниками більшості з них є Інститут овочівництва і баштанництва Національної академії аграрних наук України та приватне підприємство «Агросвіт» [28].

Серед такого різноманіття сортів перцю солодкого важко зорієнтуватись, тому доцільно провести комплексне дослідження нових і перспективних сортів плодів перцю солодкого, і враховуючи той факт, що 60 % вирощених овочів в Україні закладається на зберігання, встановити їх придатність до зберігання.

Дослідження проводились впродовж 2018-2019 рр. з метою оцінки якості нових і перспективних сортів плодів перцю солодкого і встановлення придатності їх до зберігання. Для досліджень було взято сорти перцю солодкого введені в Державний реєстр сортів рослин придатних для поширення в Україні станом на 28.01.2018 р., зокрема сорти Цитрина, Тесла, Прісціла, ЛС 1126, Кряж, Карпекс, Каптур, Гогомакс, Аріадна.

За своїми характеристиками плоди сорту Аріадні мають видовжену форму, близько 7 см завдовжки, діаметр при цьому середній – 4,5 см, що формує індекс форми – 1,6. Форма поперчного розрізу плоду трикутна, поверхня перикарпію гладенька, перед достиганням забарвлення зеленувато-біле, після – червоне. Товщина стінки 5 мм, середня маса плодів – 165 г.

Гогомакс – плоди даного сорту кубовидної форми, з довжиною плоду до 6,3 см, діаметорм – 6,0 см, що дає мале відношення довжини до діаметра – 1,05. Форма поперечного розррізу округла з гладенькою поверхнею. Забарвлення в технічній стиадії стиглості – зелене, а при достиганні міняється на червоне. Товщина стінки перкарпію велика 7 мм, середня маса – 188 г.

Плоди сорту Каптур великі трикутної форми. Довжина плоду 8,5 см, діаметр – 5 см, відношення довжини до діаметра – велике – 1,7. Плоди з нетовстими стінками – товщиною 5 мм, середня маса плоду 170 г. Перед достиганням плоди зеленого кольору, а потім при достиганні стають червоними.

Карпекс – червоноплідний сорт солодкого перцю з плодами видовженої форми, довжиною до 10 см, діаметром – 4,5 см, індексом форми – 2,2. Стінки плоду тонкі, лише 3-4 мм, маса плодів – 145 г.

Плоди сорту Кряж вітчизняної селекції середнього розміру: діаметром 5,8 см, довжиною – 7,2 см, індекс форми – 1,25. В технічній стадії стиглості плоди зеленувато-білі, а при длостиганні стають червоними, тонкостінні (4 мм), масою до 140 г.

Сорт ЛС 1126 характеризувався плодами діаметром – 4,5 см, довжиною – 8,0 см, що давало індекс форми – 1,77. В технічній стадії стиглості плоди

зеленувато-білі, а при длостиганні стають червоними, товщина перикарпію – 5 мм, середня маса плоду 163 г.

Прісціла – сорт солодкого перцю з плодами кубовидної форми, довжина плоду 4,5 см, діаметром – 5,0 см, відношення довжини/діаметр – середнє (0,90). Перед достиганням плоди зеленого кольору, а потім при достиганні стають червоними. Плоди не великі (маса плоду 120 г), з не товстими стінками – товщиною 5 мм.

Лежкість плодів перцю солодкого визначається їх фізико-морфологічними показниками. Так вводяться великоплідні сорти перцю солодкого (Карпекс, Каптур, ЛС 1126 і Аріадні), але за рахунок тонкостінності деяких сортів формувалась маса плодів від 120 до 188 г в середньому.

Для отримання плодів високої харчової цінності необхідно впроваджувати сортову політику, прогресивні технології збирання і зберігання врожаю, які б затримували процеси достигання і перестигання, сприяли підвищенню їх харчової цінності і товарної якості. Для досягнення цих цілей, потрібно знати природу процесів, що відбуваються в плодах, їх особливості, вміти керувати ними на практиці.

Динаміка природних втрат маси плодів перцю солодкого при зберіганні наведена на рис. 2.

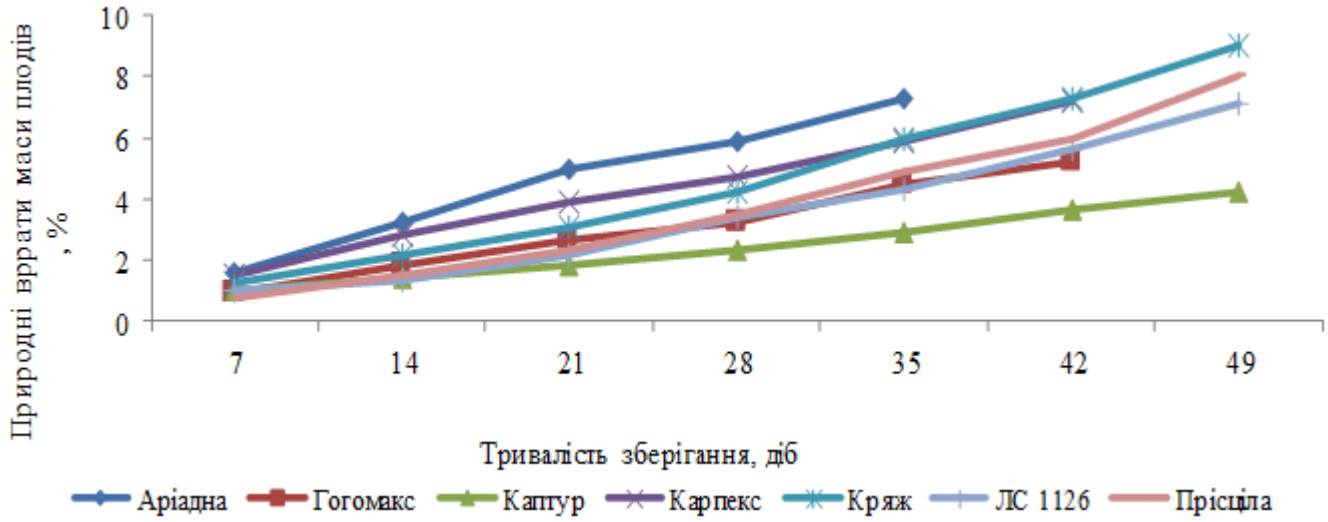


Рисунок 2. Зміни природних втрат маси плодів перцю солодкого при зберіганні

Плоди перцю солодкого не залежно від умов зберігання втрачають масу. За однакових умов зберігали 8 сортів перцю солодкого, але втрати їх маси під час зберігання були різними. Так впродовж першого тижня зберігання найменшим убутком маси відзначались плоди сортів Прісціла і Гогомакс із значеннями 0,75 і 0,91 % відповідно. На третьому місці, також із втратами менше 1 % – знаходився сорт ЛС 119 (0,99 %). Сорти Каптур і Кряж втрачали до 1,05-1,28 % маси, сорти Аріадна і Карпекс – до 1,53-1,61 %.

Найкращі результати було отримано для сортів Каптур і ЛС 1126, які зберігались впродовж 49 діб, втрати маси на кінець зберігання становили 4,25 і 7,1 % відповідно.

Утрата маси плодами пов'язана з випаровуванням вологи та витратами сухих і поживних речовин на дихання, структура розподілу втрат маси за період зберігання без охолодження наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Структура втрат маси плодами перцю солодкого при зберіганні

Сорт	Втрати маси	Втрати маси за рахунок, відносні %	
		дихання	випаровування
Аріадні	7,3	19,3	80,7
Гогомакс	5,3	21,2	78,8
Каптур	4,3	23,5	76,5
Карпекс	7,2	18,5	81,5
Кряж	9,0	16,9	83,1
ЛС 1126	7,1	22,2	77,8
Прісціла	8,0	14,9	85,2
$НІР_{05}$	0,3	0,9	4,0

З розрахованих даних таблиці 2 прослідковується тенденція, що близько третини втрат маси складаються витрати сухих речовин на процеси дихання, а решта – за рахунок випаровування вологи.

Найбільші витрати маси за рахунок процесів дихання несли плоди сортів Каптур і ЛС 1126 (близько 23 %). Через випаровування вологи втрачали масу найбільше плоди сортів Кряж і Прісціла – 83-85 %. При підвищеній температурі й зниженій відносній вологості повітря зростає випаровування

вологи. Тобто для даних сортів варто застосовувати інші способи упакування або обробки різними речовинами для скорочення випаровування вологи.

Отже сортові особливості, були вагомим фактором при зберігання плодів перцю солодкого в розрізі їх збереженості.

Поряд із втратами маси, які формують якість продукції визначали і зміну компонентів хімічного складу до і після зберігання (табл. 3 і 4).

Таблиця 3

Хімічний складі плодів перцю до зберігання

Сорт	Масова частка, %			Цукрово-кислотний індекс
	сухих розчинних речовин	загальних цукрів	титрованих кислот*	
Аріадні	6,6	2,8	0,24	12
Гогомакс	8,6	3,6	0,23	15
Каптур	7,7	3,5	0,25	14
Карпекс	8,2	3,7	0,24	15
Кряж	8,8	3,9	0,22	17
ЛС 1126	9,1	4,2	0,22	19
Прісціла	6,8	3,1	0,23	14
$НІР_{05}$	0,4	0,2	0,01	0,8

Кожний з нових сортів має тільки йому властивий хімічний склад, зовнішній вигляд і структурно-механічні властивості. Досліджувані сорти перцю солодкого містили в своєму складі від 6,8 до 8,6 % сухих розчинних речовин, за вмісту загальних цукрів – 2,8-4,2 %. Титрована кислотність досліджуваних сортів коливалась в діапазоні від 0,23-0,25 %, що формувало цукрово-кислотний індекс на рівні 12-19.

Відповідно в процесі зберігання плодів перцю солодкого змінювалась якість плодів, змінювався і їх хімічний склад (табл. 4).

Під час зберігання плоди перцю солодкого втрачали компоненти хімічного складу на 8-15 % залежно від сорту. Найбільших втрат зазнали плоди сорту Аріадні, відповідно вони і найгірше повели себе під час зберігання, їх лежкість становила тільки 35 діб (рис. 2).

Таблиця 4

Хімічний складі плодів перцю після зберігання

Сорт	Масова частка, %			Цукрово-кислотний індекс
	сухих розчинних речовин	загальних цукрів	титрованих кислот*	
Аріадні	5,6	2,4	0,20	12
Гогомакс	7,9	3,3	0,21	16
Каптур	7,0	3,2	0,23	14
Карпекс	7,4	3,3	0,22	15
Кряж	8,0	3,5	0,20	18
ЛС 1126	8,1	3,7	0,20	19
Прісціла	6,1	2,8	0,21	13
$НІР_{05}$	0,4	0,2	0,01	0,8

Кращі результати стосовно збереженості основних компонентів хімічного складу виявлено для плодів сортів Гогомакс, Каптур і Кряж. Разом за комплексом проведених досліджень, саме ці сорти можуть бути перспективних для зберігання.

1.3 Stages of the development and implementation of the principles of HACCP in the production of hard cheese with bifidobacteria

Сучасний розвиток молочної промисловості, крім удосконалення технологій, ресурсо- та енергозбереження, поліпшення споживчих властивостей молочних продуктів, обов’язково передбачає підвищення рівня їхньої безпечності [29]. У країнах ЄС і СОТ питання забезпечення якості та безпечності молочної продукції вирішуються шляхом впровадження на переробних підприємствах різних систем забезпечення безпечності, які характеризуються системним підходом [30].

Якість продукції є одним із важливих виробничих і економічних показників роботи підприємств. Головною метою молокопереробного підприємства є ефективний збут молочної продукції, адже при споживанні, забезпечення високої якості і конкурентоспроможності набуває особливої

значущості. Встановлено, що якість продукції, яка виробляється, на 95 % залежить від якості організації процесів діяльності, і лише на 5% від впливу інших факторів [31].

Найпоширенішою системою максимального зниження ризиків виробництва небезпечних для здоров'я людини продуктів є система НАССР (Аналіз ризиків і критичні контрольні точки). Ключовим моментом її застосування є системний підхід до аналізу факторів ризику протягом усього виробничого ланцюга (від джерел сировини для переробки до реалізації продукції споживачу), що дає змогу уникнути ненадійних засобів контролю готової продукції [32].

НАССР – науково обґрунтована система контролю небезпечних чинників, що дає змогу гарантувати виробництво безпечної продукції. За системою НАССР до критичних контрольних точок (ККТ) зараховують насамперед ті технологічні операції, які здійснюються для усунення небезпечного чинника чи зниження його до допустимого рівня. ККТ в системі НАССР – це не лише перевірка технологічного процесу, а й контроль з метою управління безпекою продуктів [33].

Ефективність системи визначається 7 основними принципами, на яких базується її використання [34]:

1. Проведення аналізу можливих небезпек.
2. Визначення Критичних Контрольних Точок (ККТ).
3. Установлення Критичних меж для ККТ.
4. Впровадження системи моніторингу за контролем на ККТ.
5. Розробка корегуючих дій.
6. Забезпечення процедур перевірки.
7. Впровадження принципів ведення записів і документації.

Відповідно ДСТУ ISO 22000:2019 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюгу» на першому етапі робочою групою складаються описи сировини, інгредієнтів та матеріалів, що контактують з продуктом та готовою продукцією [35] (табл. 5).

Таблиця 5.

Опис твердого біфідовмісного сиру та сировини

Форма опису продукту – Твердий біфідовмісний сир	
Характеристики щодо безпеки харчової продукції	Основна сировина (молоко коров'яче незбиране), складові нормалізованої суміші, допоміжна сировина пройшли теплове оброблення. Теплове оброблення та зниження рівня pH у продуктів у ході визрівання знищує та/або пригнічує ріст патогенних організмів.
Основні та допоміжні компоненти, які використовуються при виробництві цільового продукту	Коров'яче молоко всіх рівнів жирності, бактеріальна закваски безпосереднього внесення, молокозсідальний фермент, сіль, кальцію хлорид, афілакт, фруктоза, питна вода.
Упакування, що використовується	Кінцева упаковка – термоусадний пакет із поліпропілену високої щільності, з термічним запаюванням.
Вимоги до маркування	Дата наноситься друкуючим обладнанням після упакування. Чітке, зрозуміле маркування згідно вимог нормативної документації.
Зберігання та збут	Спочатку для визрівання та утворення вічок зберігається у формі циліндрів у розсолі на стелажах. Після визрівання та утворення вічок головки сиру розрізаються до розміру, в якому надійдуть у продаж, запаковуються у полімерну плівку, запечатуються та зберігаються за температури (4±2) °С. Розвозиться до оптових та роздрібних торгових точок рефрижераторами (4±2) °С
Цільовий споживач	Споживається широким колом споживачів усіх вікових категорій та ресторанними організаціями.
Призначення	Продукт готовий до вживання, типово використовується безпосередньо у їжу, у гарячих та холодних бутербродах споживачами та ресторанами швидкого харчування. Також може використовуватися як складник великої кількості страв, як у особистому, так і в громадському харчуванні

На другому етапі проводиться аналіз ризиків і визначаються належні заходи контролю з використанням двох окремих, але пов'язаних один з одним кроків, які називаються «визначення та оцінка ризиків». Протягом цього етапу аналізуються складники та пакування, що використовуються, процеси оброблення й обладнання, яке застосовується на кожному етапі процесу, зберігання продукції, її збуту, цільове використання та споживачів. Завдяки даному аналізу складається перелік потенційних біологічних, хімічних або фізичних ризиків, які можуть виникнути, посилитися чи бути проконтрольованими на кожному етапі процесу виробництва твердого біфідовмісного сиру [36].

На третьому етапі проводиться визначення ККТ, яке у роботі ґрунтувалось на «дереві прийняття рішень» (рис. 3), що розроблене на сертифікованому підприємстві ТДВ «Баштанський сирзавод». Перед визначенням ККТ робоча група НАССР аналізує загальні переліки ідентифікованих небезпечних чинників, спирається на блок-схему виробництва біфідовмісного твердого сиру [37].

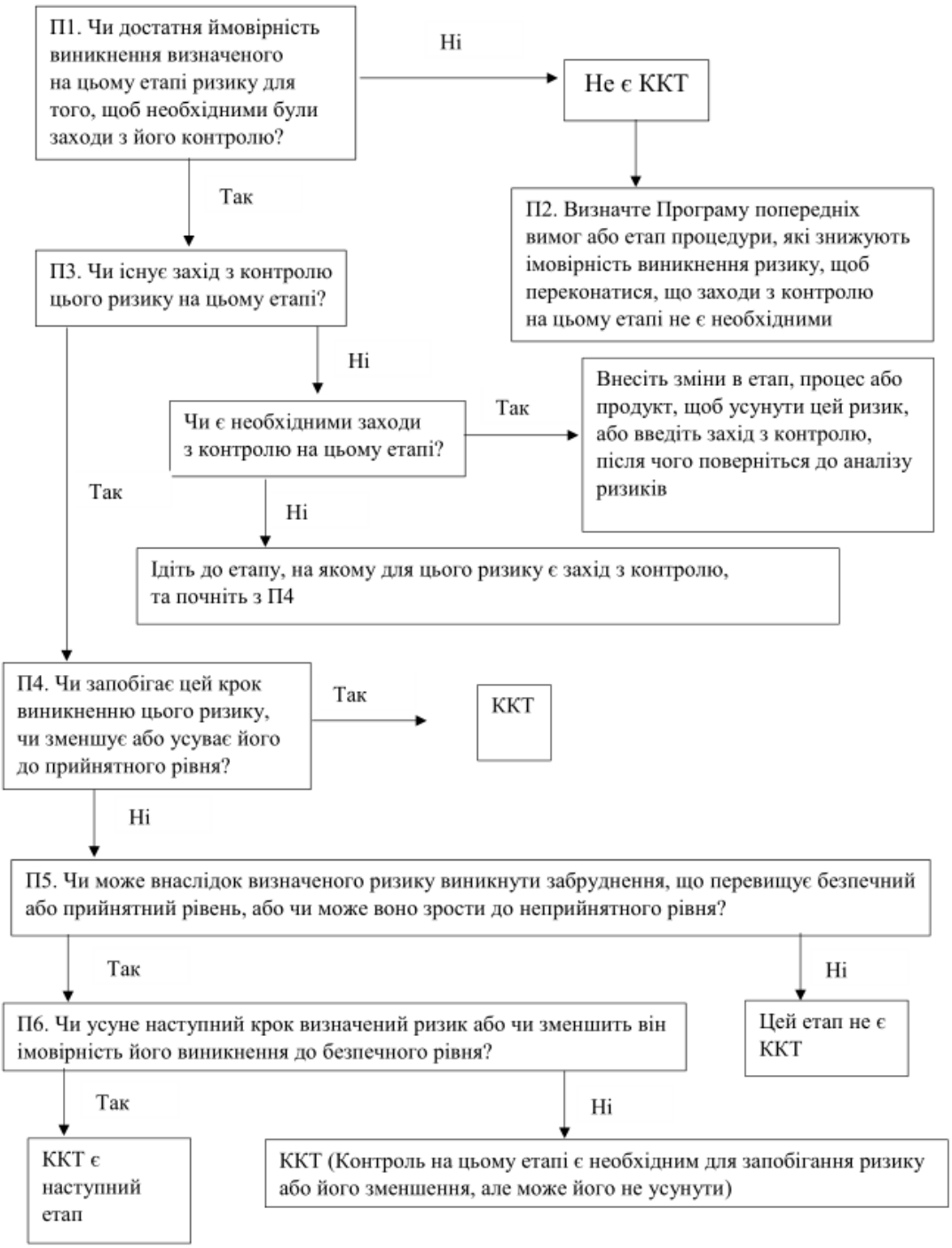


Рисунок 3. Дерево прийняття рішень

Для встановлення критичних точок контролю на кожному етапі виробництва за технологічною схемою послідовно відповідають на запитання «дерева рішень», встановлюють ККТ за ходом процесу виробництва сиру, критичні межі, систему моніторингу, корегувальні дії та процедури перевірки керованості ККТ (табл. 6).

ККТ встановлюють з метою їх подальшого запобігання, усунення, або зменшення до прийнятного рівня, т.б. до визначених критичних меж. Моніторинг ККТ запобігає або мінімізує вплив небезпечних факторів. Встановлені після моніторингу коригувальні дії виключають можливість потрапляння до споживача неякісного продуту. Розробка та впровадження ефективних процедур корегувальних дій забезпечує відповідність виробничого процесу та готового продукту вимогам нормативної документації. Постійна перевірка за допомогою внутрішнього аудиту дозволяє проконтролювати ефективність НАССР системи і встановити, що план НАССР адекватно відображає небезпечні фактори [38].

Таблиця 6

Підсумкова таблиця плану НАССР при виробництві твердого біфідовмісного сиру

Встановлена критична контрольна точка Термізація молока		
Ризики		Б – вегетативні патогенні мікроорганізми
Критичні межі для кожного контрольного заходу		Температура (65±2) °С Тривалість витримки 20…25 сек
Моніторинг	Що?	Температура Тривалість
	Як?	1. Перевірка підписів на картах реєстрації 2. Реєстрація температури за індикаторним термометром
	Як часто?	Перевірка термометру на початку і в кінці витримки
	Хто?	Оператор на процесі термізації
Коригувальні дії		1. Продовження пастеризації до досягнення критеріїв за часом і температурою 2. За тривалості більше 2 годин, продукт відхиляють та зв’язуються з відділом контролю якості
Перевірка		1. Порівняння показників індикаторного термометра 2. Наглядові перевірки на підписи на картах реєстрації 3. Калібрування обладнання 4. Перевірка пломб

Продовження табл. 6

Документація при внутрішньому аудиті		1. Графіки температур 2. Документи про коригувальні дії 3. Документи перевірки ККТ 4. Документи калібрування обладнання
Встановлена критична контрольна точка Пастеризація нормалізованої суміші		
Ризики		Б – вегетативні патогенні мікроорганізми
Критичні межі для кожного контрольного заходу		Температура (85±2) °С Тривалість витримки 20...25 сек
Моніторинг	Що?	1. Температура пастеризації 2. Температура на виході з трубчастого витримувача 3. Тривалість витримки
	Як?	Графік безперервного вимірювання температури (термограми)
	Як часто?	1. На початку та кінці витримки 2. Не менше одного разу за зміну 3. Постійно в ході експлуатації
	Хто?	Оператор на процесі пастеризації
Коригувальні дії		1. Зупинка установки, перевірка і виявлення причини, інформування майстра, при потребі проведення повторної пастеризації. 2. Вилучення ураженого потоку молока. 3. Проведення оцінки та визначення призначення продукту (переробка чи утилізація). 4. Відображення дій у документації
Перевірка		1. Контроль термограм 2. Перегляд записів. 3. Перевірка карт пастеризації та пломб 3. Наглядова перевірка та підписання карт реєстрації 3. Перевірка функціонування обладнання
Документація при внутрішньому аудиті		1. Перевірка записів журналу майстром зміни (кожну зміну) 2. Записи ККТ – бланки пастеризації 3. Документи про коригувальні дії. 4. Перевірка ККТ – документи перевірки, в тому числі записи про перевірку обладнання

Система НАССР на сироробних підприємствах молочної промисловості дозволяє уникнути можливих ризиків при виробництві твердого біфідовмісного сиру.

Наведений опис сировини, інгредієнтів та матеріалів, що контактують з напівфабрикатами при виробництві та з кінцевим продуктом, дозволяють виділити особливо небезпечні чинники.

Аналіз блок-схеми процесу виробництва твердого біфідовмісного сиру дозволяє побачити рух сировини, допоміжних матеріалів, матеріалів пакування,

рух компонентів суміші та готового продукту та на основі дерева рішень визначити ККТ.

На основі дерева рішень на підприємстві встановлюються операційні програми-передумови, які включають ризики, критичні границі для кожного заходу з контролю, моніторинг, коригувальні дії, перевірку та документальне оформлення.

1.4 Research of the possibility of inhibition of oxidation processes in foods

Під час зберігання харчових продуктів відбуваються різні процеси: окислювальне і мікробіологічне псування, вологообмін, адгезійні явища, меланоїдиноутворення та ін. Найважливішими показниками конкурентної здатності продукції вважаються високі органолептичні показники та подовжений термін придатності.

Домінуючими процесами під час товароруху слід вважати ті, які є критичними, що призводять до суттєвих і помітних змін якості продукції, зокрема процеси окислення. Якість товару визначається рівнем найбільш лабільного показника його якості (іноді інтегральним показником низки лабільних характеристик). Забезпечивши високий вихідний рівень найбільш лабільних показників якості або сповільнення темпів їх зниження у процесі зберігання, можна суттєво впливати на якість товарів і тривалість їх життєвого циклу.

За умов ослаблення організму відбувається масове утворення вільних радикалів (оксидантів), які можуть бути причиною багатьох захворювань. У таких ситуаціях організму людини особливо потрібні біологічно активні речовини, які допомагають адаптуватися до несприятливих факторів навколишнього середовища, запобігти захворюванням та виявляти антиоксидантну активність [39].

Серед антиоксидантів у харчовій промисловості застосовують токофероли, аскорбінову кислоту і пальмітат аскорбінової кислоти, бутилоксианізол (БОА),

бутилокситолуол (БОТ), ефіри галової кислоти [40]. Науковці стверджують, що є необхідність у проведенні експериментальних досліджень конкретних антиоксидантів по відношенню до різних видів жиру. З метою підвищення стійкості купажів рослинних олій з оптимізованим жирнокилотним складом перспективним є введення жиророзчинних органічних форм селену. Еталонним антиоксидантом вважається дигідрокверцетин [41], який належить до класу поліфенолів і не має жодної мутагенної активності для людини. Досліджено механізм та встановлено антиоксидантний вплив соняшникового фосфатидного концентрату на окиснення соняшникової олії [42]. До антиоксидантів також належать поширені у рослинному світі біологічно активні сполуки: α-токофероли, β-каротин, природні поліфеноли [43, 44, 45, 46, 47, 48, 49]. Науковцями останніми роками доведено, що антиокислювальні властивості цих речовин у присутності аскорбінової кислоти і селену підвищуються.

Для визначення ступеня самоокислення ліпідної фази у харчових продуктах необхідно користуватися комплексною оцінкою із застосуванням декількох методів, оскільки за вмістом одного типу окислювальних продуктів не можна судити про вміст інших. Самим об’єктивним критерієм вмісту первинних продуктів окислення є пероксидне число, для більш повної характеристики визначають додатково карбонільні вторинні продукти окислення (наприклад, бензидином, р-анізідином, 2-ТБК, 2,4-дінітрофенілгідразином).

Нашими дослідженнями вивчено антиоксидантну дію амінокислот. Відносно ефективності амінокислот існують розбіжності серед науковців. Одні автори (Н. Емануель, Ю. Лясковська, К. Маркус та ін.) вважають, що гліцин, аспарагін, гістидин, лізин, цистеїн мають високі антиокислювальні властивості, а інші – метіонін (А. Рудковський та ін.). Тому нами вивчено антиокислювальні властивості амінокислот на прикладі кондитерського жиру (рис. 1, 2).

Результати визначення пероксидного числа показали, що найбільшою антирадикальною активністю серед вивчених амінокислот володіють метіонін, цистин, лейцин. Дещо нижчу дію виявили амінокислоти лізин, аргінін.

Антиокислювальна активність аспарагінової кислоти була найнижча, а в деякі періоди дослідного зберігання навіть виявила проокислювальну дію.

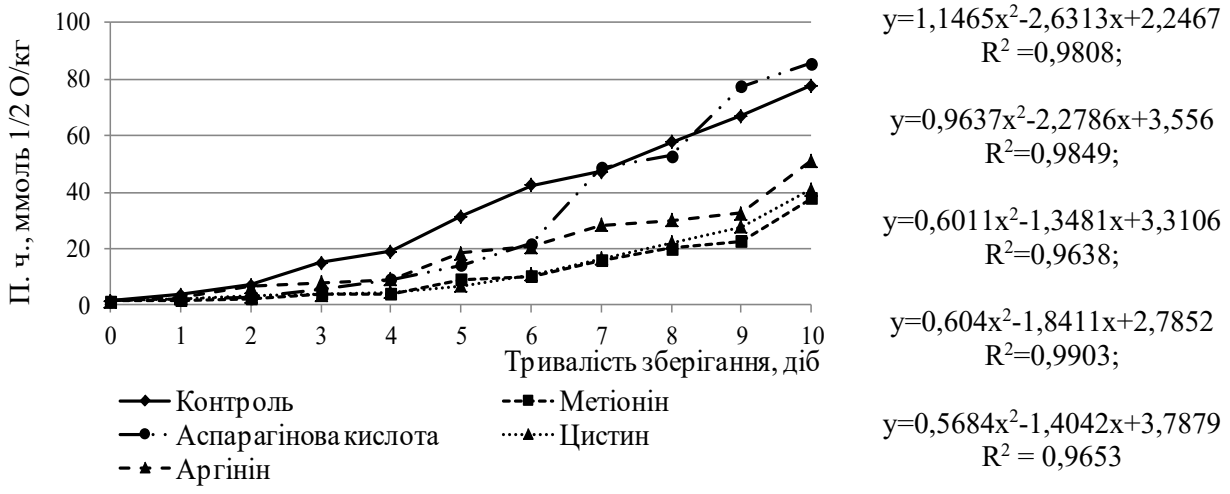


Рисунок 4. Динаміка пероксидного числа кондитерського жиру з добавками-амінокислотами (0,1%) у процесі зберігання в модельних умовах за температури (90±2)ºС (серія 1)

Рисунок 5. Динаміка пероксидного числа кондитерського жиру з добавками-амінокислотами (0,1%) у процесі зберігання в модельних умовах за температури (90±2)°С (серія 2)

Критерієм оцінки антиоксидантних властивостей амінокислот також служило бензидинове число, яке показало гальмування автоокислення у зразках кондитерського жиру (табл. 7).

Таблиця 7.

Динаміка бензидинового числа кондитерського жиру з добавками-амінокислотами у процесі зберігання в модельних умовах за температури (90±2)°С, $E_{1см}^{1\%}$

$p \leq 0,05$; $n = 3$

Аміно-кислоти, 0,1 % до маси жиру	Тривалість зберігання, діб				
	2	4	6	8	10
Контроль	0,243±0,012	0,461±0,023	0,506±0,026	0,661±0,033	0,960±0,048
Метіонін	0,124±0,006	0,184±0,017	0,198±0,010	0,202±0,010	0,411±0,021
Аспарагінова кислота	0,236±0,012	0,338±0,017	0,349±0,018	0,521±0,026	0,994±0,050
Цистин	0,132±0,007	0,220±0,011	0,261±0,013	0,279±0,042	0,492±0,025
Аргінін	0,176±0,009	0,272±0,014	0,317±0,016	0,419±0,021	0,641±0,032
Лізин	0,229±0,002	0,360±0,018	0,393±0,020	0,571±0,029	0,822±0,041
Серин	0,268±0,013	0,379±0,019	0,406±0,020	0,632±0,032	0,988±0,049
Лейцин	0,142±0,007	0,235±0,012	0,285±0,014	0,372±0,019	0,528±0,026
Валін	0,215±0,011	0,237±0,012	0,363±0,018	0,414±0,002	0,726±0,036

Цей ефект амінокислот досягається у результаті руйнування гідроперекисів без утворення вільних радикалів, що пов’язано з їх здатністю відновлювати сполуку перекисного характеру з утворенням молекулярних продуктів.

Таким чином, за здатністю виявляти антирадикальні властивості помітно вирізняються метіонін, цистин, лізин, аргінін, лейцин, валін. Їх внесення дозволило сповільнити окислювальний процес в 1,2-4,7 раза. Слабку дію виявили серин і аспарагінова кислота.

Встановлення антиокислювальних властивостей у амінокислот доводить доцільність використання у складі нових БКВ білоквмісної сировини, яка включає підвищену кількість досліджених амінокислот. У випадку прояву низького антиоксидантного впливу амінокислот, очевидно, необхідно вводити

добавки-синергісти, зокрема аскорбінову кислоту, яка найбільш поширена у рослинній сировині.

1.5 Formation of commodity properties of frozen semi-finished product for smoothies based on fruit-an- berry raw materials

Збалансоване та раціональне харчування є важливою умовою збереження здоров'я населення. Уживання безпечних та якісних продуктів харчування в потрібній кількості є однією з нагальних потреб громадян, що забезпечує підтримку на високому рівні фізичної та розумової активності населення.

Усе більш популярним напрямом харчової індустрії у світі стає створення безалкогольних напоїв із використанням рослинної сировини – смузі. Для приготування смузі існує досить великий вибір компонентів [50]. До рецептурного складу можуть входити свіжі, заморожені, сушені фрукти, овочі та ягоди, а також різні спеції, висівки, крупи, молочні продукти [51].

Як показує всесвітній досвід, приготування смузі в домашніх умовах та в готельно-ресторанній сфері не є нормованим, оскільки напій готують переважно з огляду на смакові властивості, не враховуючи особливостей взаємодії хімічного складу інгредієнтів між собою. Як повідомляє FDA це єдиний широковідомий продукт на який немає міжнародних та вітчизняних стандартів та стандартизованих технологічних схем. Цей продукт не може бути віднесений до жодної із категорій поданих у міжнародному стандарті Codex Alimentarius [52] більше того віднесення його до змішаних за складом продуктів (категорія 16.0) є також не зовсім відповідним сутності продукту. Виходячи з цього, актуальним є наукове обґрунтування рецептурного складу напою та алгоритму формування фізико-хімічних, колоїдних, технологічних та інших змін складу та структури продукту з метою отримання заданих показників.

Забезпечення організму людини поживними речовинами, що містяться у свіжих фруктах та ягодах, у зимовий період стає можливим завдяки

застосуванню різних способів переробки рослинної сировини. Заморожені фрукти та ягоди не містять консервантів, оскільки заморожуються відразу після збирання врожаю, максимально зберігаючи вітаміни.

Розвиток і широке впровадження ефективного заморожування, низькотемпературного зберігання та переробки фруктів і ягід сприятиме вирішенню проблеми збалансованого харчування населення, зниженню рівня захворювань, підвищенню якості життя [53]. Крім того, упровадження таких новацій значно розширить базу місцевої переробної промисловості, розвиток якої, у свою чергу, сприятиме розвитку сільськогосподарського виробництва регіону.

При розробці рецептур багатокомпонентних продуктів харчування дотримувались принципів харчової комбінаторики, враховуючи можливість хімічної взаємодії інгредієнтів, вибирали такі комбінації та способи внесення і обробки, які забезпечували максимальну ефективність при виробництві та зберіганні, а також підвищену біозасвоюваність. Основоположним чинником при розробці рецептури є вибір певних видів сировини та їх співвідношення, що забезпечить високу якість готової продукції, включаючи кількісний вміст і якісний склад інгредієнтів, наявність певних органолептичних показників, споживних та технологічних характеристик [54].

Для досягнення заданих показників якості готової продукції та визначення раціональних значень рецептури напівфабрикату застосовували сучасні методи дослідження до яких у першу чергу відносяться методи математичного моделювання. Приймаючи до уваги складність взаємозв’язків між компонентами рецептури та вимогами щодо кількісних показників готового напою то неможливо у повній мірі використати основні фізико-хімічні закони. Тому для визначення рецептури використовували сучасні оптимізаційні методи чисельного аналізу.

Рецептура напівфабрикату для смузі включає три компоненти: сушені яблука, полуницю та вівсяні пластівці. Критерієм якості для розробленого напівфабрикату була енергетична цінність та вміст вітамінів і мінеральних

речовин. Згідно математичної моделі необхідно визначити числові значення складу рецептури та забезпечити присутність у готовому продукті не менші значення складових речовин що наведені у табл. 8.

Таблиця 8

Уміст складових речовин у компонентах напівфабрикату для смузі

Назва складових		Рецептурні компоненти, в 100 г продукту			Вміст у н/ф, не менше, мг/100г
		Полуниця	Сушені яблука	Вівсяні пластівці	
Мінеральні речовини,	K	161,0	562,0	333,0	387
	Ca	16,0	108,8	52,0	67,8
	Mg	13,0	39,5	126,0	43,2
	P	24,0	74,9	327,0	94,9
Вітамін С, мг/100г		62,7	0,8	–	22,3
Енергетична цінність / калорійність, кДж/ккал		35	231	352	262,32/55,98

Для розрахунків використовувалась функція Maximize пакету MathCAD. За допомогою математичного моделювання визначено раціональне співвідношення компонентів, які попередньо підготовлені (гідратовані) у складі напівфабрикату: сушені яблука – 50%, полуниця – 35% та вівсяні пластівці – 15%. На основі експериментально встановлених оригінальних комбінацій основної та додаткової сировини була створена рецептура, що забезпечує оптимальну збалансованість основних нутрієнтів з одночасним збереженням високих смакових властивостей готового продукту (табл. 9).

Таблиця 9

Рецептурний склад напівфабрикату для смузі

Найменування сировини	Рецептура, кг на 1 т продукції, нетто
Полуниця Дукат	350,0
Сушені яблука Боровінка	167,0
Вівсяні пластівці	60,0
Вода питна (для гідратації)	423,0
Всього:	1000

Спосіб отримання замороженого напівфабрикату для смузі включає наступні технологічні операції: сушені яблука інспектують, додають воду (t= +20 °С, гідромодуль 1:2) і залишають для набухання впродовж 15 хвилин; полуницю інспектують, миють, очищають від плодоніжки; вівсяні пластівці подрібнюють та заливають водою (t= +20 °С, гідромодуль 1:1,5); підготовлені компоненти змішують, подрібнюють механічним способом до розміру частин 38 мкм та заморожують до температури (–18±2) °С.

На рис. 6 запропоновано спосіб виготовлення замороженого напівфабрикату для смузі [55].

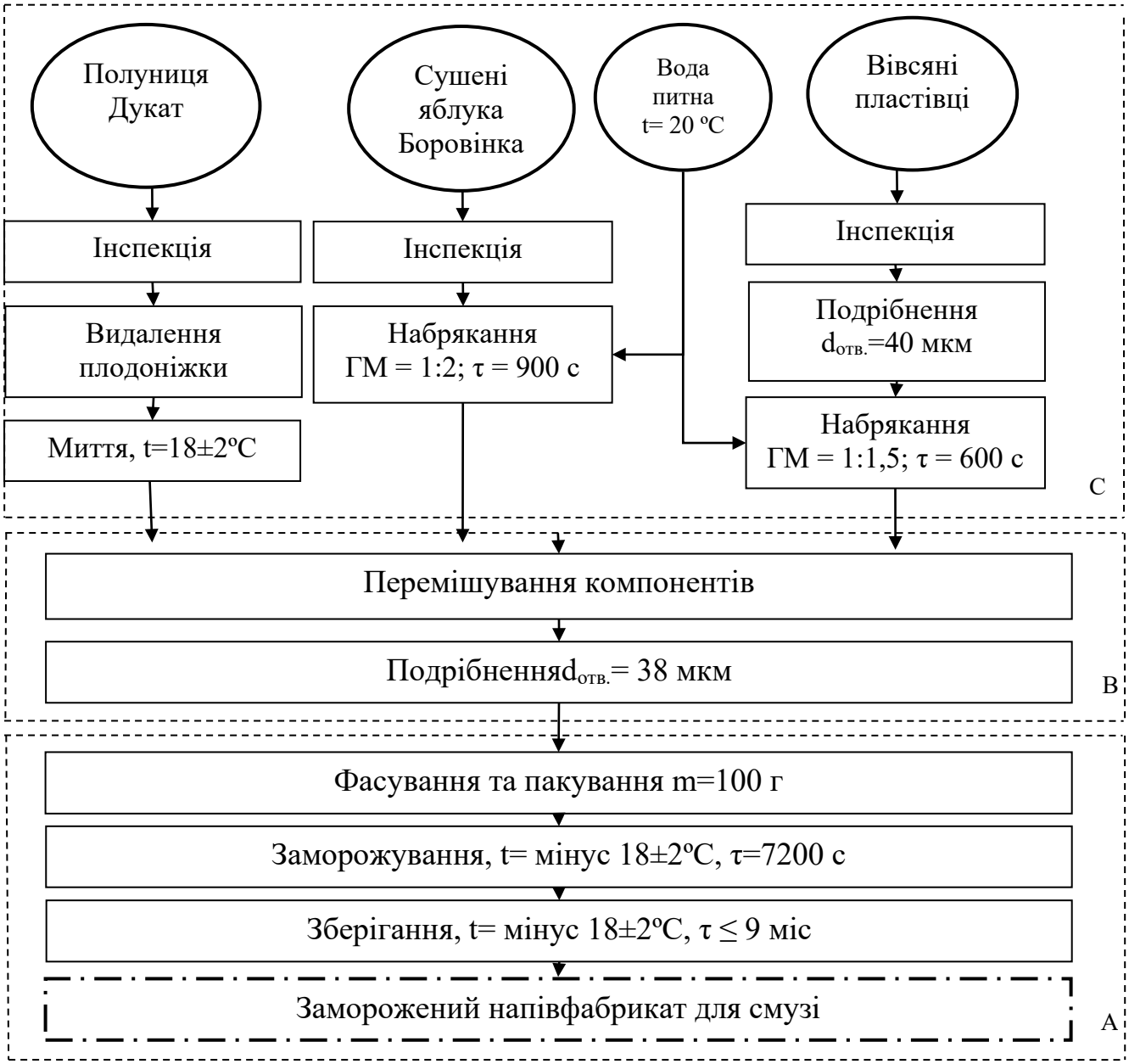


Рис. 6. Технологічна схема виробництва замороженого напівфабрикату для смузі

Розроблена рецептура дозволила встановити, що використання сушеної продукції в технологічному потоці кулінарних страв дозволяє спростити операції з механічної кулінарної обробки сировини, скоротити тривалість технологічного процесу приготування кулінарних виробів і розширити їх асортимент. Внесення 50% сушених яблук надає високі желюючі та органолептичні властивості (надає напівфабрикату приємний фруктовий смак і аромат, який добре комбінуються з різними смаковими добавками), а додавання 35% полуниці сприяє отриманню яскраво червоного забарвлення, властивого смаку та аромату. Внесення 15% вівсяних пластівців сприяє утворенню стійкої консистенції, яка володіє тривалою стійкістю. Використання вівсяних пластівців покращує реологічні властивості за рахунок наявності у складі крохмалю, білкових речовин і підвищує біологічну цінність за рахунок баластних речовин.

Таким чином запропонований спосіб виробництва дозволяє отримати заморожений напівфабрикат однорідної консистенції, що не розшаровується з часом та має високий вміст біологічно активних речовин. Також запропонований спосіб дозволяє знизити витрати праці та часу на приготування напоїв в домашніх умовах і в закладах ресторанного господарства. Перевагою рецептури розробленого напівфабрикату є 100% використання натуральних інгредієнтів рослинної сировини місцевого виробництва. Запропонований спосіб дає можливість отримати напій із заданими товарознавчими ознаками – органолептичними (смак, запах, колір, консистенція) та фізико-хімічними (масова частка сухих розчинних речовин, вміст вологи, масова частка цукрів, масова частка білка, масова частка жиру, титрована кислотність, масова частка клітковини, вміст крохмалю, активна кислотність і вміст вітаміну С).

Доведено, що заморожений напівфабрикат на протязі дев'яти місяців низькотемпературного зберігання після розморожування має однорідну консистенцію з рівномірно розподіленою тонкоподрібненою м’якоттю, що не розшаровується з часом. Смак та запах натуральний, добре виражений, властивий початковому виду сировини, з якого виготовлено напівфабрикат, без

сторонніх запахів, колір яскравий, чітко виражений та однорідний за всією масою.

Протягом дев'яти місяців тривалого зберігання напівфабриката для смузі систематично досліджувались його фізико-хімічні показники, які безпосередньо впливають на його якість, а саме, масову частку сухих розчинних речовин, вміст вологи, масову частку цукрів, масову частку білку, масову частку жиру, титровану кислотність, масову частку клітковини, вміст крохмалю, активну кислотність та вміст вітаміну С [56]. Отримані результати наведено в табл. 10.

Таблиця 10

Фізико-хімічні показники напівфабрикату для смузі під час низькотемпературного зберігання (n = 5, P≥0,95)

Показники якості	Термін зберігання за температури t= -18ºС, місяці				
	0	1	3	6	9
Масова частка сухих розчинних речовин, %	22,51	21,49	21,44	21,39	21,34
Вміст вологи, %	77,49	78,51	78,56	78,61	78,66
Масова частка цукрів, %	11,02	10,75	10,62	10,57	10,54
Масова частка білка, %	3,70	3,61	3,54	3,46	3,39
Масова частка жиру, %	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93
Титрована кислотність (в перерахунку на яблучну кислоту), %	1,91	1,94	1,98	2,02	2,13
Масова частка клітковини, %	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4

Продовження табл. 10

Масова частка крохмалю,%	11,05	11,05	11,05	11,05	11,05
Вміст вітаміну С, мг/100 г	22,58	22,23	21,89	21,63	20,38
Активна кислотність, pH	4,15	4,11	4,06	4,02	3,98

Проведені експериментальні дослідження підтверджують те, що консервування заморожуванням дозволяє зберегти харчову цінність напівфабрикату для смузі. Отримані результати показують, що відбулися незначні зміни хімічних показників якості, а саме частково інвертується сахароза, дещо змінюється pH, вміст вітаміну С, але ці зміни незначні, щоб викликати суттєве погіршення якості.

Вище наведені дані вказують на відповідність розробленого напівфабрикату вимогам вітчизняного стандарту ДСТУ 6029:2008 до якості і безпечності фруктових та ягідних подрібнених швидкозаморожених напівфабрикатів. Відсутність харчових добавок у розробленому напівфабрикаті відповідає вимогам міжнародного стандарту CODEX STAN192–1995 на концентрати для фруктових і овочевих нектарів (категорія 14.1.3.3) та на десерти на основі круп та крохмалю (категорія 06.5 за Codex Alimentarius).

При виготовленні заморожених напівфабрикатів велика увага приділяється мікробіологічній забрудненості рослинної сировини та дотриманню санітарно-гігієнічних умов виробництва [57, 58]. Щоб забезпечити оптимальні умови, в яких обмежується ріст мікроорганізмів та отримати продукцію належної якості необхідно проводити дослідження мікробіологічних процесів, які відбуваються в харчових продуктах.

Для визначення мікробіологічних показників дослідження проводили безпосередньо після виготовлення, а потім через 30, 60, 90, 180 та 270 діб низькотемпературного зберігання при температурі –18±2 ºС. Результати досліджень представлено в табл. 11.

Дослідження показали, що у зразках напівфабрикату під час зберігання грамнегативна мікрофлора – бактерії групи кишкових паличок, патогенні мікроорганізми, в т.ч. бактерії роду Salmonella – не виявлені.

З представлених даних таблиці 11, встановлено зменшення загальної мікробіологічної забрудненості протягом низькотемпературного зберігання, що свідчить про негативний вплив холоду на життєздатність мікроорганізмів. Кількість МАФАнМ після 30, 60, 90, 180 та 270 діб низькотемпературного зберігання при температурі –18±2 ºС декілька зменшується порівняно із свіжовиготовленим. Кількість дріжджів та плісеневих грибів також зменшується у процесі зберігання, але повного відмирання мікрофлори не відбувається, отже важливим є дотримання санітарно-гігієнічних норм під час їх виготовлення, пакування, зберігання та реалізації [59].

Таблиця 11

Мікробіологічні показники напівфабрикату для смузі під час низькотемпературного зберігання за температури –18 °С

Найменування показника				
КМАФАнМ, КОУ/ 1г продукту, не більше 5×10^4	БГКП (коліформні) в 0,1 г продукту	Патогенні мікроорганізми, у т.ч. Salmonella в 25 г продукту	Дріжджі КОУ/ в 1 г продукту, не більше 5×10^3	Плісеневі гриби КОУ/1 г продукту, не більше 1×10^3
Свіжовиготовлений (до заморожування)				
$1{,}2\times10^3$	Не виявлено	Не виявлено	$1{,}3\times10^3$	8×10^2
Після 30 діб низькотемпературного зберігання				
$8{,}7\times10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$9{,}3\times10^2$	$7{,}1\times10^2$
Після 60 діб низькотемпературного зберігання				
$7{,}5\times10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$9{,}1\times10^2$	$6{,}8\times10^2$
Після 90 діб низькотемпературного зберігання				
$7{,}1\times10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$9{,}0\times10^2$	$6{,}7\times10^2$

Продовження табл 11

Після 180 діб низькотемпературного зберігання				
$6,5\times10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$8,7\times10^2$	$6,5\times10^2$
Після 270 діб низькотемпературного зберігання				
$6,3\times10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$8,5\times10^2$	$6,4\times10^2$

Мікробіологічна безпечність заморожених напівфабрикатів головним чином залежить від забрудненості сировини, санітарно-гігієнічних умов виробництва та швидкості здійснення підготовчих операцій.

1.6 Improving the technology of purification and stabilization of liqueur-vodkas production

Перед лікеро-горілчаної галуззю стоїть ряд завдань, серед яких особливо варто виділити підвищення якості та конкурентоспроможності вітчизняної алкогольної продукції. Проблема якості алкогольних напоїв, представлених на як світовому ринку так і на ринку України, залишається гострою. Впоратися з цією проблемою допомагає інтегрування систем менеджменту якості та безпеки на підприємства лікеро-горілчаної промисловості.

Якість - це комплексне поняття, визначень якого існує достатня велика кількість, але найбільш поширеним є визначення якості як сукупності властивостей і характеристик об'єкта, що відносяться до його здатності задовольняти встановлені або передбачувані потреби [60].

Кінець 20 сторіччя та початок цього сторіччя характеризуються значним вдосконаленням технологічних процесів у лікеро-горілчаному виробництві. Якісні сорбційні та фільтрувальні матеріали, підготовлена вода та високоякісний спирт – це три умови за яких можна отримати високоякісну горілку [61].

Одним з напрямів подальшого удосконалення технології горілок є пошук нових видів та форм матеріалів для використання в існуючих апаратурних

схемах з метою інтенсифікації адсорбційних процесів, що проходять під час оброблення водно-спиртових сумішей (ВСС).

Сучасний стан розвитку технології горілок приділяє все більшу увагу підвищенню сорбційних властивостей використовуваних матеріалів, в тому числі шунгіту. Шунгіт – універсальний сорбент, який поглинає ряд небажаних у виробництві домішок, адсорбує солі важких металів та проявляє бактерицидні властивості. Використання шунгіту, у лікеро-горілчаному виробництві під час водопідготовки та очищення водно-спиртових сумішей (сортівок), обумовлено адсорбційною здатністю та безпечністю. Особливою рисою шунгіту є наявність у його структурі фулеренових вуглецевих нанотрубок, шунгіт володіє вільним пористим простором, у якому виділяють мікропори, мезопори, та макропори. Ефективна активація та модифікування сорбентів дає покращити технологічні характеристики, дегустаційні та фізико-хімічні показники готової продукції, її стабільність під час зберігання [62].

Для активації наноструктурованих центрів шунгітового вуглецю необхідна обробка за підвищених температур. Так як під час очищення водно-спиртових сумішей поверхня і пориста структура природного матеріалу шунгіту заповнюються адсорбованими домішками, внаслідок чого його сорбційна здатність поступово зменшується [62].

Для збільшення адсорбційної можливості проведено дослідження з низькотемпературної активації та модифікації шунгіту за температури від плюс 160 ◦С до плюс 180 ◦С протягом 2 годин .

Ефективність методу активації та модифікації шунгіту у технології горілок досліджували за основними каталітично-сорбційними властивостями та ефектом очищення сортівки матеріалом у вугільно-очисній батареї за швидкості від 5 дал до 60 дал на годину.

Основними показниками, що характеризують у технології горілок якісні властивості сорбційного матеріалу є: сумарний об’єм пор за водно-спиртовою сумішшю, активності за йодом, оцтовою кислотою та лужністю водного настою.

Сорбційна активність за йодом і каталітична активність за оцтовою кислотою, а також за лужністю водного настою - принципово різні види активності сорбційного матеріалу, що використовується для очищення сортівок.

Активність за йодом (рис. 6) вказує на здатність пор шунгіту поглинати молекули мікродомішок спирту, яке відбувається за механізмом фізичної сорбції та обумовлено дією дисперсійних сил. Чим більше сумарний обсяг сорбуючих пор (мікропор) у матеріалі, тим вище його здатність сорбувати мікродомішки спирту. Встановлено, що у активація та модифікація шунгіту дає змогу покращити сорбційну здатність на 5-10%.

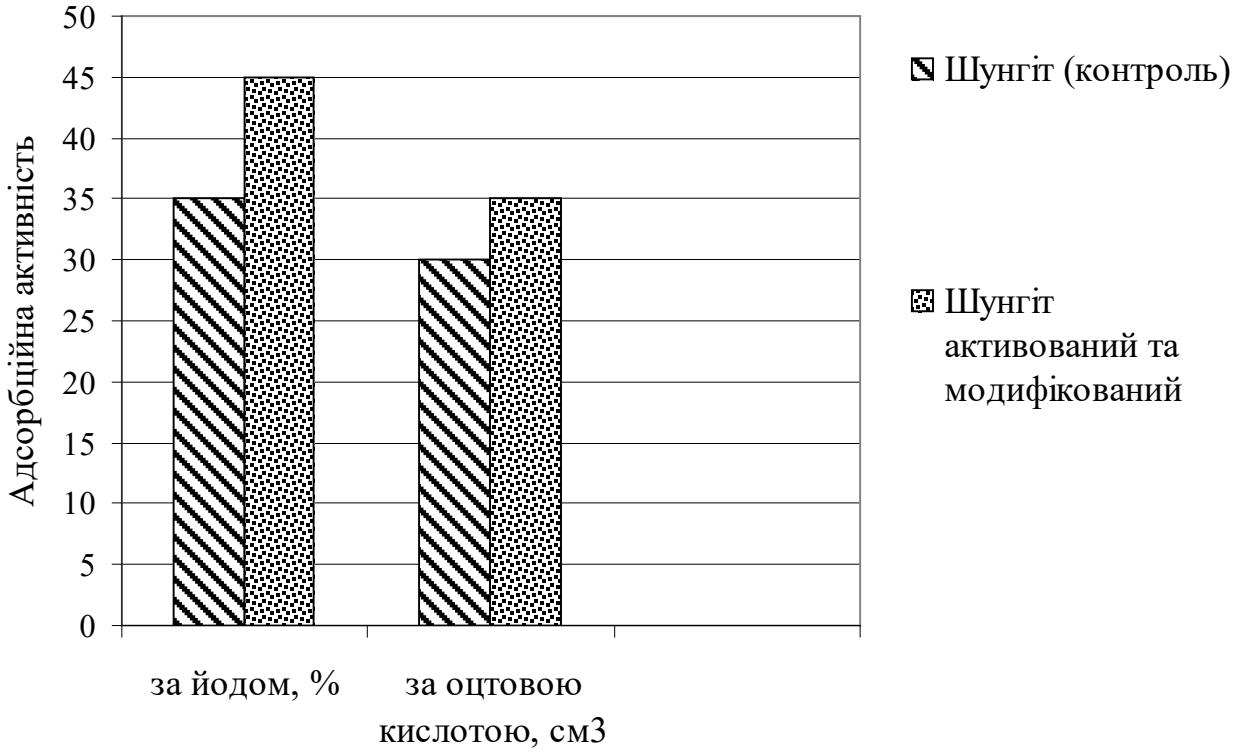


Рисунок 7. Адсорбційна активність шунгіту

Активність за оцтовою кислотою (рис. 7) та за лужністю водного настою (рис. 2) вказує на здатність матеріалу до каталітичного перетворення: окиснення ненасичених сполук, спиртів і альдегідів, етерифікацію кислот і омилення естерів. Визначено, що значення цих показників після активації та

модифікації також збільшуються на 20% відповідно, однак у меншому обсязі ніж сорбційна.

Збільшення сумарного об'єму пор (рис. 7) на 25% для активованого і модифікованого матеріалу призводить до збільшення активної поверхні взаємодії шунгіту і до значно повнішого контакту водно-спиртової суміші з частинками матеріалу. Таким чином під час обробки шунгітом відбувається окислення спиртів і одночасне утворення естерів з новостворених кислот і спиртів сортівки. Окисненню піддаються, в основному вищі спирти, що підтверджується збільшенням ефекту очищення під впливом активованого та модифікованого сорбційного матеріалу (рис. 8).

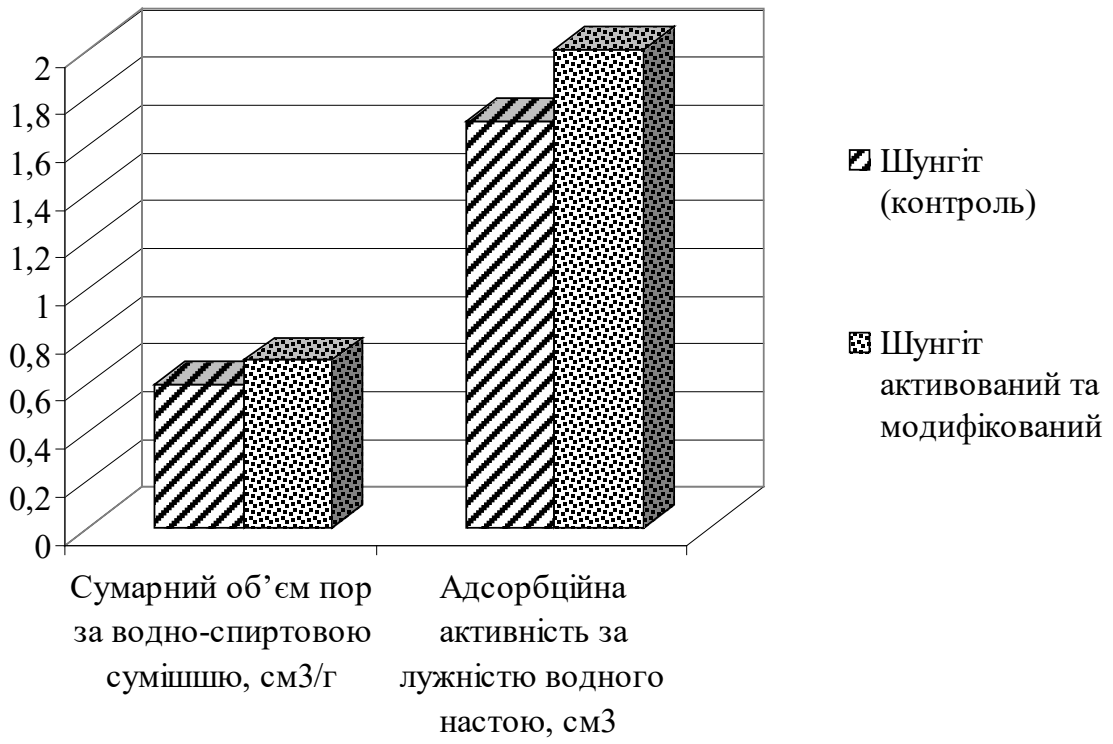


Рисунок 8. Сумарний об'єм пор та лужність водного настою шунгіту

Різниця між оптичною густиною сортівки до і після обробки її шунгітом характеризує його здатність до очищення, яку виражають як ефект очистки у відсотках від вихідної величини оптичної густини. Ефективність очищення вказує на властивості органічних мікродомішок спирту поглинати світло в

ультрафіолетовій області спектра. Ступінь забруднення органічними мікродомішками встановлювали за величиною оптичної густини, виміряної на спектрофотометрі за довжини світлової хвилі 240-250 нм в кюветі з довжиною робочої грані 50 мм (рис. 9).

Встановлено, що ефективність очищення збільшується на 30-35 % в наслідок попередньої обробки шунгіту активацією та модифікацією та вказує на можливість поглиблення сорбування шкідливих мікродомішок водно-спиртової суміші.

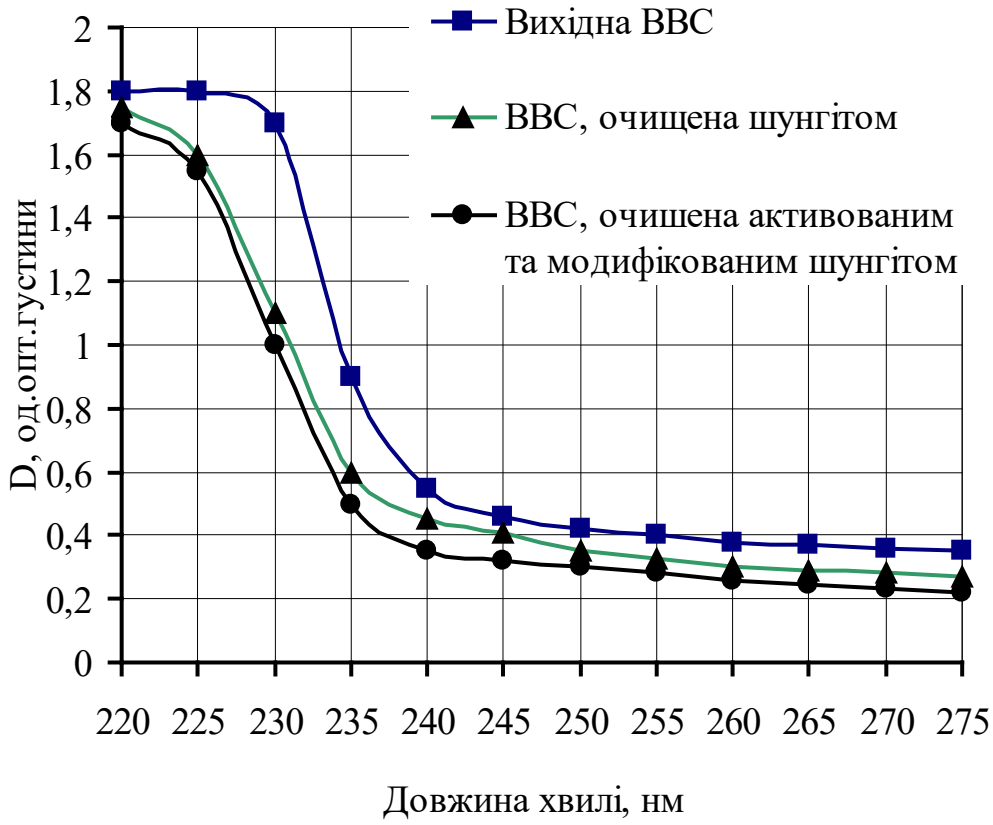


Рисунок 9. Ефективність очищення сортівки шунгітом

На сьогодні для оброблення сортівки окрім різних типів активного вугілля використовують додаткові сорбенти, до складу яких входять високомолекулярні сполуки (ВМС), наприклад: сухе знежирене молоко, сухі молочні суміші, модифікований крохмаль, яєчний порошок, біомаса клітин мікроорганізмів [60, 61].

Нами були проведення дослідження щодо використання бурштинових матеріалів для внесення їх в пляшку з напоєм, додаткового оброблення сортівки та під час виробництва горілок у сувенірному виконанні. У дослідженнях використано фракції бурштинового матеріалу від 1,1 мм до 3,0 мм; від 3,1 мм до 5,0 мм; від 5,1 мм до 10,0 мм.

Згідно отриманих результатів випробувань для горілки при внесенні бурштинового матеріалу в пляшку, можемо стверджувати, що гранична концентрація бурштинового матеріалу становить 0,75 г/500 см^3. Прозорість при цій концентрації становить граничнодопустиме значення 0,005 одиниць оптичної густини, масова концентрація альдегідів складає 87,5% допустимої верхньої шкали вимог. Масова концентрація сивушного масла, в перерахунку на суміш ізоамілового та ізобутилового спиртів (1:1) в безводному спирті та масова концентрація естерів, у перерахунку на оцтовоетиловий естер в безводному спирті зростають на 20-25%. Ці дані підтверджуються граничним значенням прогнозованої стійкості готової продукції, яка становить 24 місяці (рис. 10).

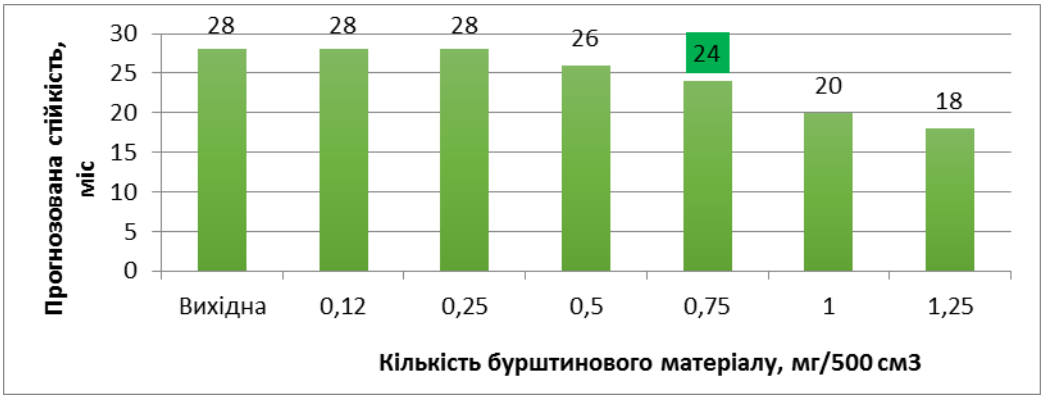


Рисунок 10. Залежність стійкості від внесення бурштинового матеріалу

Визначено, що зі збільшенням кількості внесеного настою бурштинових матеріалів (понад 5 дм^3 на 1000 дал) спостерігається підвищення масової концентрації етилового естеру на 16,7 %, ацетальдегіду на 56 %,

метилацетату на 27,8 %, 1-пропанолу на 80 %, 1-бутанолу на 62,5 %, ізоамілового та ізобутилового спирту на 71,4 %.

Також у горілці особливій з бурштиновим настоєм збільшується масова концентрація бурштинової кислоти та зменшується прогнозована стійкість горілок особливих, яка не повинна бути менше ніж 12 місяців. Таким чином, гранична кількість настою спиртового бурштинових матеріалів, як інгредієнту для виробництва горілок - 2,5 $дм^3$/1000 дал, горілок особливих - 10,0 $дм^3$/1000 дал.

Для удосконалення способу додаткового оброблення горілки бурштиновим матеріалом її фільтрували крізь шар бурштинового матеріалу за традиційною класичною технологією.

За зміною органолептичних і фізико-хімічними показників, масової концентрації бурштинової кислоти визначено прогнозовану стійкість та загальну дегустаційну оцінку горілки в залежності від швидкості її фільтрування.

Встановлено, що для одержання горілки швидкість фільтрування повинна бути є межах 100-140 дал/год, для горілки особливої від 80 до 140 дал/год. При визначених швидкостях фільтрування дегустаційна оцінка збільшується на 0,2 – 0,3 бали, масова концентрація альдегідів не перевищує вимог стандарту, а саме 80 % від верхньої шкали вимог (4 мг/$дм^3$ б.с.).

Проведені дослідження підтверджують, що досліджені активований, модифікований шунгіт та бурштиновий матеріал є перспективними і розширюють спектр допоміжних матеріалів лікеро-горілчаного виробництва, основною перевагою яких є незначне зростання вмісту альдегідів під час оброблення сортівок при одночасному збільшенні ефективності очищення водно-спиртових сумішей.

Сучасний розвиток лікеро-горілчаної галузі потребує вирішення задач пов’язаних зі збільшенням строку придатності лікеро-горілчаних напоїв [63]. Тому, останнім часом підвищилась зацікавленість підприємств у застосуванні нових і удосконалених методів виробництва лікеро-горілчаної продукції.

На цей час під час виробництва лікеро-горілчаної продукції в Україні та світі використовують різні методи стабілізації, обробки напівфабрикатів, купажу, готової продукції, стабілізуючі речовини, які покращують фізико-хімічні та органолептичні показники готових лікеро-горілчаних напоїв, а також їх зовнішній вигляд [63].

Для підвищення рейтингу торгової марки та виходу на новий рівень ринку збуту напоїв лікеро-горілчаного виробництва актуальним є вдосконалення способів стабілізації напівфабрикатів та купажу, а також застосування антиоксидантів, які вносять у купаж під час обробки.

Було проведено дослідження складу осаду після тестування настоянок виготовлених на основі напівфабрикатів із рослинної сировини («Перцівка», «Хріновуха», «Медовуха», «Калганівка», «Лимонно-імбирна»), а також настоянок приготовлених на основі напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини («Ожинова», «Вишнівка», Кизилова», «Смородинівка», «Малинівка», «Сливова», «Журавлинова», «Обліпихова»).

Склад осаду після тестування зразків настоянок, виготовлених з рослинної сировини, вказує, що в усіх зразках спостерігається у осаді невеликий вміст хлоридів та пектинових речовин (менше 0,5 мг/дм^3). Вміст натрію у осаді настоянці «Калганівка» до 4 разів більше, ніж у інших настоянок, виготовлених з рослинної сировини. Вміст калію у осаді настоянки «Перцівка» приблизно у 2,5 рази більше, ніж у інших настоянок, виготовлених з рослинної сировини. Вміст вуглеводів у осаді настоянки «Медовуха» у 4,5-5 разів більше, ніж у інших настоянок, виготовлених з рослинної сировини. Вміст сульфатів у осадах настоянках «Медовуха» та «Калганівка» у 1,5-2 рази більше, ніж у інших настоянок, виготовлених з рослинної сировини. Вміст алкалоїду капсаїцину наявний тільки у настоянці «Перцівка», оскільки це притаманно перцю червоному.

Склад осаду після тестування зразків настоянок, приготовлених на основі напівфабрикатів із плодово-ягідної сировини вказує, що усі зразки мають невеликий вміст хлоридів та сульфатів (менше 0,5 мг/дм^3), а також невеликий

вміст магнію та кальцію (менше 0,1 мг/дм^3). Вміст загального заліза у осаді настоянці «Смородинівка» приблизно у 1,5-2 рази більше, ніж у інших настоянок, виготовлених з плодово-ягідної сировини. Вміст білкових речовин у осадах настоянок «Кизилова», «Смородинівка» та «Журавлинівка» приблизно у 4-7 разів більше, ніж у інших настоянок, виготовлених з плодово-ягідної сировини. Вміст фосфатів у осаді настоянки «Ожинова» приблизно на 35-40 % менше, ніж у інших настоянок, виготовлених з плодово-ягідної сировини. Вміст пектинових речовин у осаді настоянках «Малинівка» та «Сливова» найменший серед, настоянок, виготовлених із плодово-ягідної сировини (менше 0,1 мг/дм^3).

Стійкість досліджених напоїв становить від 3 до 6 місяців. Такий строк зберігання є короткостроковим, тому для запобігання протікання окислювальних процесів в напоях було досліджено застосування антиоксидантного матеріалу, як стабілізатора.

Для встановлення антиокислювальної здатності в купажі рецептур напоїв вносили антиоксидантний матеріал із розрахунку 0,75 та 1,0 дм^3 на 1000 дал. В якості контролю використовували напій без стабілізатора. Напої зберігали в різних умовах – на світлі та в темноті, за кімнатної температури та за понижених температур (від мінус 6 ^{o}C до плюс 10 ^{o}C). За прогнозованою стійкістю було встановлено, що напої з додаванням антиоксидантного матеріалу мають в 1,4 – 2,5 рази більшу стійкість, ніж контральні зразки без стабілізатора.

Таким чином, на основі проведених досліджень показано способи удосконалення технології лікеро-горілчаної продукції шляхом використання у виробничій практиці досліджених:

- природних матеріалів під час очищення водно-спиртових сумішей,
- антиоксидантного матеріалу, як стабілізатора для одержання рівноважної системи та формування якості готових лікеро-горілчаних напоїв з тривалим строком зберігання.

1.7 Recommendations for processing naked oats into flaked products

Розвиток сировинної бази та технологій, підвищення ритму життя населення стали наслідком стрімкого розвитку та розширення асортименту існуючих круп'яних продуктів. В першу чергу можна виділити значне розширення ринку зернових сніданків, мюслі та відповідно пластівців які зазвичай стають основою для них. Такі продукти в порівнянні із класичними крупами із цілого або подрібненого ядра мають ряд переваг – володіють кращими смаковими характеристиками та значно менший термін приготування або зовсім не потребують варіння при цьому основні переваги традиційних круп у вигляді високої збалансованості хімічного складу зберігаються або за рахунок введення додаткових компонентів (мюслі, зернові сніданки) в порівнянні з крупами навіть покращуються. В Україні сьогодні пластівці або плющені крупи являють собою широку ланку продуктів які вироблені при подальшій переробці традиційних рисових, ячмінних, пшеничних. гречаних, просяних, горохових. Такий підхід дозволяє при відсутності регламенту на переробку зазначених культур в плющені продукти проводити технологічний процес за неповною структурою та застосовувати невизначені офіційним регламентом режими. Вівсяні пластівці та плющені продути є регламентованими, при цьому існуючий асортимент налічує три види пластівців та один вид плющеної крупи. При виробництві вівсяних пластівців завдяки складності технологічних процесів переробки плівчастого зерна відповідно до діючим нормам регламенту дозволяється використовувати зерно вівса або вироблену з нього крупу неподрібнену різних сортів. Практично увесь існуючий в Україні асортимент вівсяних класичних пластівців та плющених круп являють собою продукти вироблені при плющенні крупи отриманої із цілого ядра.

При переробленні зерна голозерного вівса основні технологічні процеси спрощуються, кількість операцій необхідних операцій скорочується, що дозволяє використовувати голозерне зерно для виробництва широкого

асортименту плющених продуктів. За певних потреб при використанні шліфованого ядра голозерного вівса можливо у повному обсязі відтворити класичні схеми виробництва усього існуючого в нашій країні асортименту вівсяних плющених продуктів із відповідними показниками якості які відповідають діючим стандартам.

Традиційна схема переробки зерна голозерного вівса в пластівці вироблені із цілого ядра передбачає вирішення таких задач: шліфування, сортування продуктів шліфування, воднотеплову обробку, плющення, сортування продуктів плющення, сушіння, контроль плющеного ядра.

При виробництві плющених продуктів технологічні операції шліфування та сортування продуктів шліфування здійснюють при використанні необробленого зерна голозерного вівса в якості сировини для їх виробництва.

Якщо на зернопереробному підприємстві використовується неповний технологічний процес і в якості сировини для виробництва плющених продуктів використовується шліфоване ядро голозерного вівса (крупа) рекомендоване для виробництва такого асортименту продуктів доцільно провести додаткові контрольні операції перед здійсненням основних етапів технологічного процесу.

Першою технологічною операцією з переробки шліфованого ядра в плющені продукти є воднотеплова обробка. Ядро вівса завдяки своєму хімічному складу серед інших традиційних круп має найбільшу схильність до плющення, що підтверджується значним асортиментом плющених традиційних вівсяних продуктів. Однак плющення шліфованого ядра без проведення додаткової обробки є нераціональним так як не зважаючи на пластичність ядра при плющенні з вихідними параметрами спостерігається крихкість відповідно утворюється велика кількість подрібненого ядра та борошенця, ядро за попередньою органолептичною характеристикою не можна віднести до пластівців або плющених круп, та більшою мірою нагадує роздавлене зерно. Зважаючи на це рекомендовано проводити направлену зміну властивостей шліфованого ядра перед плющенням, що досягається на етапі воднотеплової

обробки. Основним технологічним обладнанням, яке рекомендовано використовувати для здійснення зазначених методів воднотеплової обробки є зволожуючі машини та пропарювачі. В залежності від наявного на переробному підприємстві обладнання можна використовувати машини інтенсивного зволоження, мийні машини, пропарювачі періодичної або постійної дії.

При виробництві пластівців отриманих із цілого ядра рекомендовано використовувати метод воднотеплової обробки, який поєднує холодне та гаряче кондиціювання, що надає високі пластичні характеристики ядру, зменшить кількість утворення на етапі плющення вторинних сировинних ресурсів (борошенця та частинок подрібненого ядра) та відповідно максимально підвищить ефективність використання сировини. Серед інших можливих методів воднотеплової обробки реалізація комбінованої структури є найбільш складної та протяжною передбачає на першому етапі проведення холодного кондиціювання, на другому гарячого, однак проведення саме такої обробки надає необхідних для виробництва пластичних властивостей цілому шліфованому ядру. Холодне кондиціювання передбачає обробку ядра у зволожуючих машинах при цьому даний етап рекомендовано здійснювати таким чином щоб забезпечити підвищення вихідної вологості ядра на 2-3 %. Для проникнення вологи в ядро передбачається проведення темперування у бункерах. Завдяки тому, що з поверхні ядра вилучено частину оболонкових шарів швидкість проникання вологи в ядро збільшується тому тривалість темперування доцільно обирати у межах 2,0-3,0 год. Після цього ядро спрямовують на етап гарячого кондиціювання, яке полягає у пропарюванні в пропарювачах при надлишковому тиску. Пропарювання проводять таким чином щоб забезпечити приріст вологості ядра ще на 1,0-2,0 %. Основними факторами, що впливають на ефективність даного етапу є тиск насиченої пари в пропарювачі та тривалість пропарювання. Для виробництва пластівців із цілого ядра при пропарюванні тиск пари в пропарювачі рекомендовано встановлювати 0,16-0,19 МПа, тривалість пропарювання у межах 3-5 хв. При проведенні

воднотеплової обробки ядра комбінованим методом холодного та гарячого кондиціювання кінцева вологість ядра перед плющенням складає 17-20 %.

При виробництві плющених круп отриманих із цілого ядра рекомендовано використовувати метод воднотеплової обробки який здійснюють за структурою гарячого кондиціювання. Це пов'язано із тим що технологічний процес виробництва даної крупи спрямовано отримання більш грубого продукту у вигляді плющеного вівсяного ядра, яке завдяки утворенню мікротріщин при плющені на поверхні має усі характеристики круп швидкого приготування. Такий продукт характеризується більшою товщиною в порівнянні із пластівцями. При виробництві плющеної крупи необхідно забезпечити таку вологість ядра яка дозволить ефективно здійснити плющення ядра до товщини 0,8-1,2 мм та виключити надмірне розтріскування та руйнування. Для цього шліфоване ядро пропарюють при збільшеному в порівнянні із пластівцями тиску насиченої пари 0,20-0,22 МПа, тривалість пропарювання 5-7 хв.

При виробництві тонких пластівців воднотеплову обробку здійснюють комбінованим методом холодного та гарячого кондиціювання. Ядро на першому етапі зволожують у зволожуючих машинах на 1,5-2,0 % після чого відволожують 1,0-1,5 год. Після цього ядро спрямовують на пропарювання яке рекомендовано пропарювати тиску насиченої пари 0,12-014 МПа, тривалість пропарювання визначають у межах 2-4 хв. Кінцева вологість ядра перед плющенням складає 15-16 %.

Наступною технологічною операцією переробки зерна голозерного вівса є плющення. Для виробництва плющених продуктів із цілого ядра для забезпечення гладкої поверхні отриманих продуктів рекомендовано встановлювати у вальцьових або плющильних верстатах мікрошорстких (гладких) вальців. В той час для виробництва плющених круп отриманих із цілого ядра найбільш доцільно використовувати рифлені вальці. Кожен асортимент плющених продуктів характеризується своєю товщиною. Для виробництва пластівців із цілого ядра при плющенні рекомендовано встановлювати значення міжвальцьового зазору 0,3-0,4 мм, плющеної крупи

0,6-0,8 мм. При плющенні цілого або подрібненого ядра утворюється суміш продуктів, яка складається із плющеного ядра, дрібних частинок подрібненого ядра та борошенця. Кількість вторинних сировинних ресурсів є незначною, знаходиться у межах значень 5-7 %. Такі продукти за своїми властивостями здатні погіршувати якісні властивості отриманого плющеного продукту та знижувати його цінність.

Традиційно плющені продукти вироблені із зерна характеризуються вмістом вологи на рівні 12-14 %. Підсушування плющеного ядра рекомендовано здійснювати до вологості не більше 14 %. Орієнтовні значення виходів продукції при виробництві пластівців із цілого ядра 67-70 %, тонких пластівців із цілого ядра 65-69 %, плющеної крупи із цілого ядра 64-67 %, пластівців із подрібненого ядра 62-65 %.

1.8 Development of formulation multicomponent protein-fat emulsion

Виробництво нових продуктів харчування з високими споживчими характеристиками, збалансованих по амінокислотному та жирнокислотному складу набуває широкого попиту та актуальності.

Для підвищення харчової цінності м'ясних продуктів та регулювання їх функціонально-технологічних властивостей перспективним є створення комбінованих продуктів на основі комплексного використання тваринної білкової сировини та сировини рослинного походження з високим вмістом білку, жиру, харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин і ін.

Застосування білкових препаратів та рослинних олій при виробництві м'ясних продуктів дозволяє раціонально використовувати сировину, збільшити виробництво і підвищити споживчі характеристики готових м'ясопродуктів.

Білково-жирові емульсії, як правило, являють собою складні багатокомпонентні дисперсійні системи, властивості яких визначаються, насамперед, функціональними критеріями, характером взаємодії та структурною сумісністю основних компонентів і, насамперед, білків і жирів.

Застосування БЖЕ у виробництві посічених напівфабрикатів дозволяє заощадити основну м'ясну сировину, а також одержати продукт із високою харчовою цінністю, збалансований за амінокислотним та жирнокислотним складом.Додаткове внесення тваринних білків у м’ясну систему має позитивний вплив на структурно-механічні та органолептичні властивості готової продукції, а саме: соковитість, ніжність, щільність та ін.[70]

Серед запропонованих виробниками білкових препаратів, обрали тваринні білки отримані з крові ВРХ, та сполучні тканини ВРХ і свиней: ТИПРО 600– повністю розчинний білок з плазми крові ВРХ, твариний білок "Коллапро" (Голландія) з яловичої колагеновмісної сировини та CAPremium 95 – високофункціональний свинячий білок, зі свинячої шкурки, який містить антиоксиданти: токоферол (Е306) та екстракт розмарину (Е392).

При виборі білкових систем основним критерієм був амінокислотний склад, проаналізувавши який встановили, що препарат CAPremium 95 містить повний набір незамінних амінокислот. При розрахунку скорів тваринних білків встановили, що найбільш високим є скор лізину в препараті CAPremium95, який склав 90,9%. Лімітуючим, в даному тваринному білку, був ізолейцин, з показником скору 46,3%. Тваринні білки відрізняються неповноцінним вмістом незамінних амінокислот. Вцілому амінокислотний склад CAPremium95 є кращим у порівнянні з іншими досліджуваними тваринними білками.Тому, для приготування білково-жирових емульсій обрали тваринний білок CAPremium95, який в суміші з концентратом сухої сироватки КСБ-УФ-70 в співвідношенні 2:3 покращує амінокислотний склад, зокрема за вмістом ізолейцину та триптофану, але має лімітуючу незамінну амінокислоту валін, згідно розрахунків. Хімічний склад композиційної суміші тваринних білків містить до: 80% білку, 2,7 % жиру, 10,3% вуглеводів, 3,8% вологи, 3,3% мінеральних речовин.

Волого- і жироутримувальна здатність білків та їхні емульсійні властивості обумовлюють утримання вологи та жиру в продукті в адсорбованому та

емульсійному стані, що дозволяє підвищити стійкість м'ясних систем і перешкоджає утворенню жирових набряків.

Для досілждення функціонально-технологічних властивостей тваринних білків використовували модельні системи: сухий препарат : вода для визначення вологоутримувальної здатності (ВУЗ) і сухий препарат : олія – жироутримувальної здатності (ЖУЗ) (рис. 11 і рис.12 відповідно).

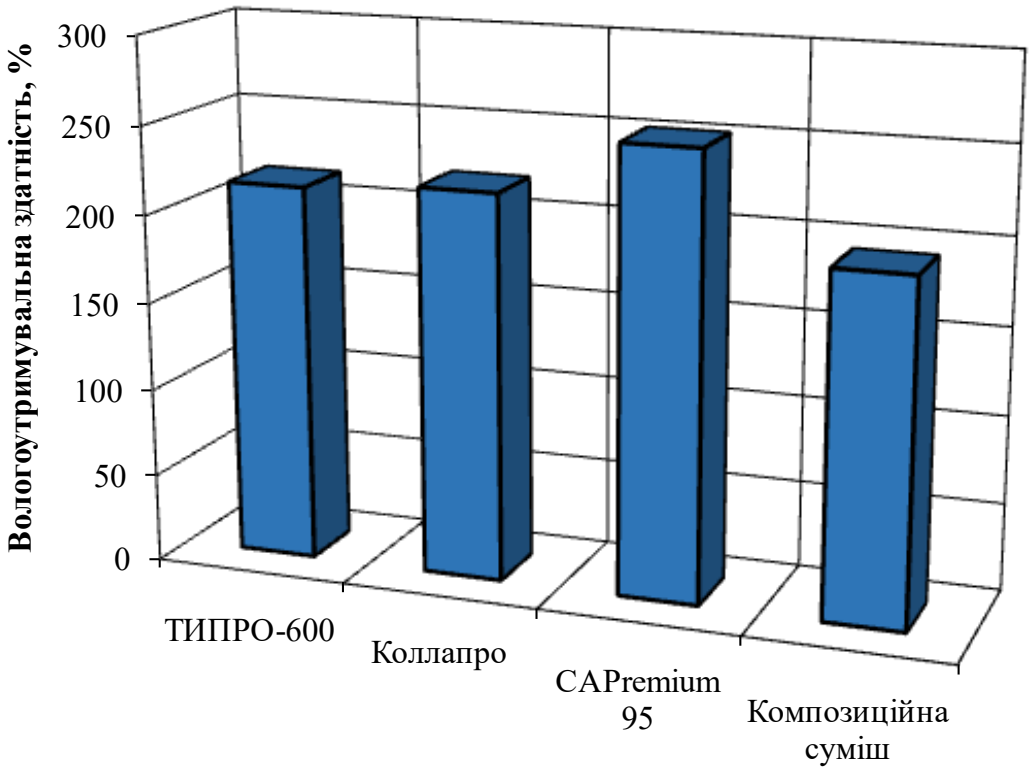


Рис. 11. Вологоутримувальна здатність препаратів тваринних білків

Вологоутримувальна здатність CAPremium95 на 32…37% вища, ніж препаратів ТИПРО-600 та Коллапро, а композиційна суміш поступається їм на 21...58%, що потрібно буде врахувати при складанні гідромодулю БЖЕ.

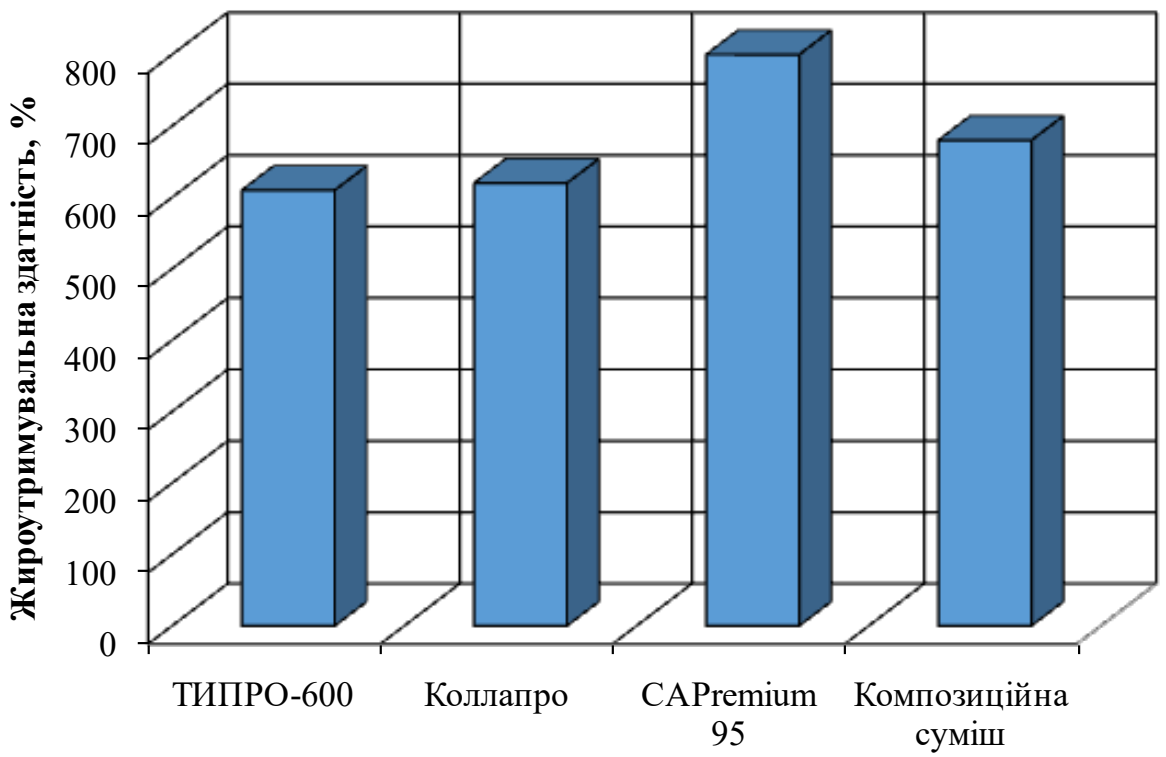


Рис.12. Жироутримувальна здатність препаратів тваринних білків

З даних, наведених на рис.12, видно, що жироутримувальна здатність тваринного білка CAPremium 95 перевершує інші білки на 180…190%. Жироутримуючаздтність композиційної суміші не поступається препаратам ТИПРО-600 та Коллапро, адже концентрат сухої молочної сироватки хоч і володіє не високою вологоутримуючою, проте досить високою жироутримуючою здатністю, що впливає на цей показник у суміші з тваринним білком CAPremium95.[71]

Для визначення гелеутворювальної здатності готували гелі при співвідношенні сухий компонент:вода як – 1:5, 1:10 та 1:20 і визначали вологозв’язувальну здатність препаратів залежно від ступеня гідратації (рис.3).

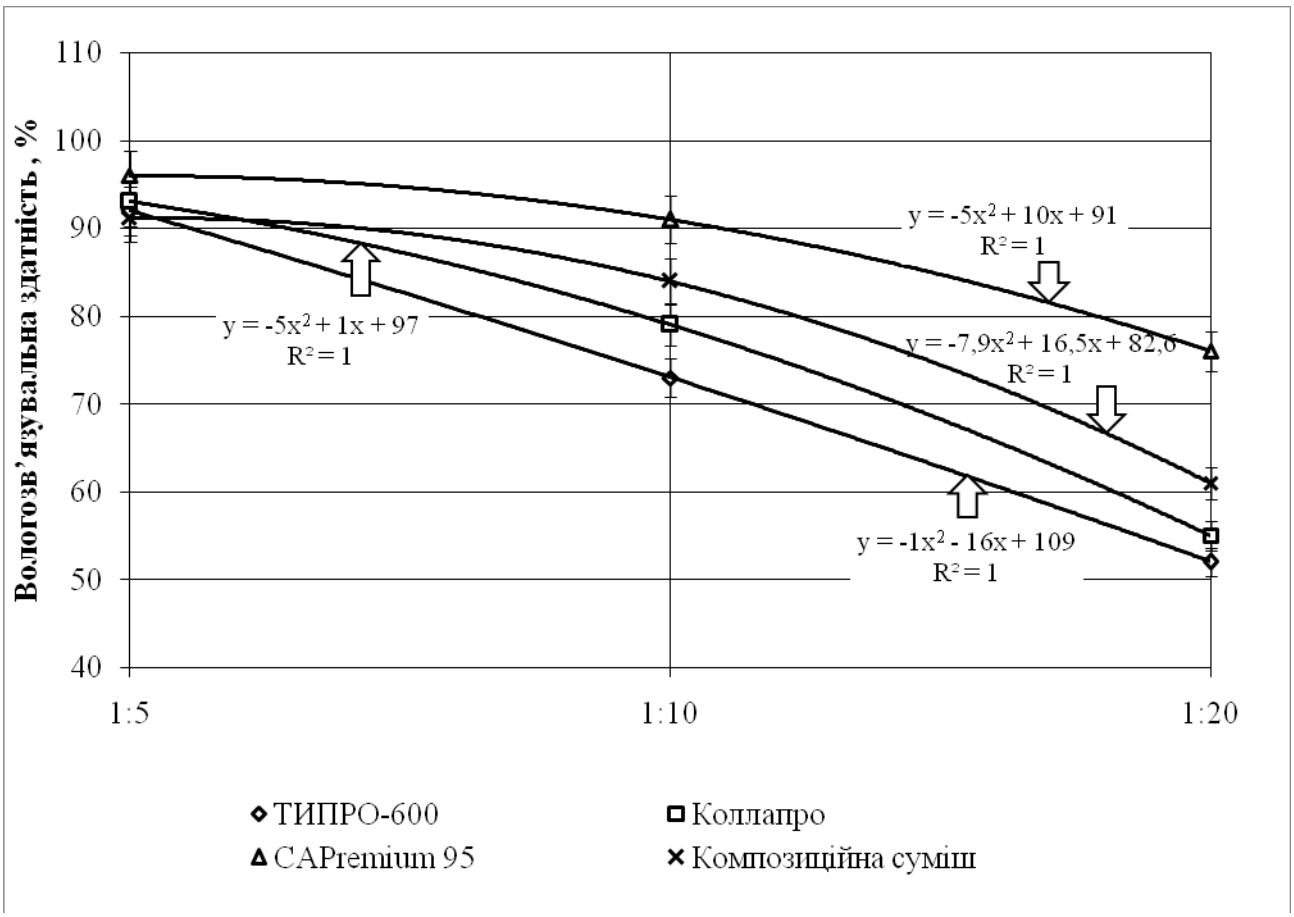


Рис. 13. Вологозв'язувальна здатність препаратів тваринних білків при різному ступені гідратації

Отримані дані,наведені на рис.13, свідчать, що всі тваринні білкові препарати та композиційна суміш мають високі значення вологозв'язувальної здатності (в межах 61-95%), проте найвищим ступенем гідратації володіє білок CAPremium 95, його ВЗЗа знаходиться в межах 85-92% при ступені гідратації 1:5-20.

Дослідження залежності впливу температури гідратації на граничне напруження зсуву (ГНЗ) гелів тваринних білків при гідратації 1:5 та 1:10свідчить про збільшення ГНЗ для обох гідромодулів при зміні температури гідратації (рис. 14).

Підвищення температури гідратації досліджених модельних систем із 10±0,5°С до 30…50°С приводить до стрибкоподібного збільшення досліджених показників. Вплив збільшення температури гідратації на структурно-механічні

властивості гелів може пояснюватися значним розчиненням желатинизованого колагену за температури вище ніж 30 °С та збільшенням ступеня набухання часток колагену під час подальшого нагрівання.

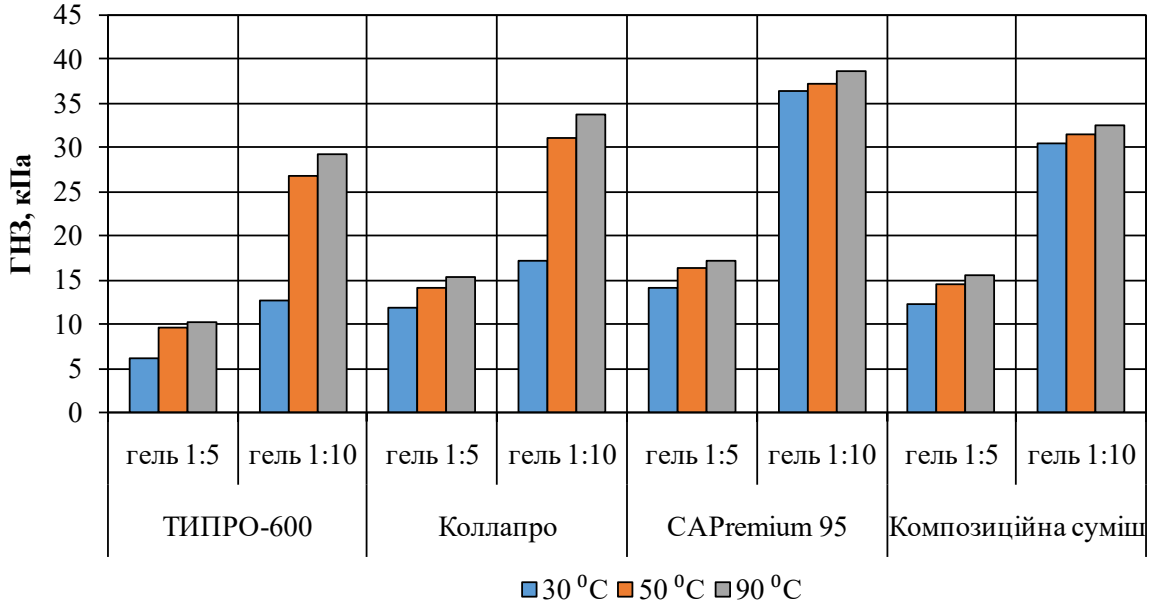


Рис. 14. Граничне напруження зсуву гелів на основі тваринних білків при зміні температури гідратації

Стрімке падіння значень ГНЗ модельних систем у разі підвищення температури досліджуваних гелів відбувається очевидно за рахунок зменшення кількості водневих зв'язків між молекулами желатинизованого колагену, що тягне за собою розм'якшення структури.

Моделювання та оптимізація рецептурного складу білково-жирових емульсій здійснювалася з використанням купажованих олій, тобто системи, в якій ПНЖК груп ω-6 і ω-3 присутні в рекомендованих співвідношеннях.[72]

В останні роки в харчовій промисловості спостерігається тенденція до збільшення споживання тропічних олій, зокрема кокосової.Для створення купажу розрахували оптимальне співвідношення рослинних олій кокосова – гарбузова - ріпакова.Результати проведеного аналізу показують, що ні кокосова, ні гарбузова, ні ріпакова олія не відповідають за жирнокислотним

складом сучасним теоріям здорового та збалансованого харчування, а саме за вмістом ненасичених кислот та за співвідношенням ω-3 та ω-6 жирних кислот.

Проаналізувавши жирно-кислотний склад вихідних олій було розроблено трьохкомпонентні суміші з рафінованих олій (кокосова олія; гарбузова олія; ріпакова олія) які наведено в таблиці 12.

Таблиця 12.

Співвідношення ω -3: ω -6, ω -6: ω -9

№	Купаж рослинних олій	ω -3: ω -6	ω -6: ω-9
1	Гарбузова 58% + кокосова 5% + ріпакова 37% олії	1:5	1:1,4
2	Гарбузова 55% + кокосова 9% + ріпакова 36% олії	1:5	1:1,4
3	Гарбузова 50% + кокосова 16% + ріпакова 34% олії	1:5	1:1,3
4	Гарбузова 45% + кокосова 24% + ріпакова 31% олії	1:5	1:1,4

Вибрані купажі розроблені на основі кокосової олії, яка володіє структуроутворюючими властивостями у фаршевих системах, з додаванням гарбузової та ріпакової олії, що дозволяє збалансувати співвідношення ПНЖК ω-6 і ω-3 на рівні 5:1.

Розроблені купажовані оліїє харчовими продуктами підвищеної біологічної цінності, мають підвищений вміст омега-3 ПНЖК і можуть бути рекомендовані для виробництва збалансованих продуктів.Жирнокислотний склад розроблених купажів рослинних олій наведено на рис. 15.

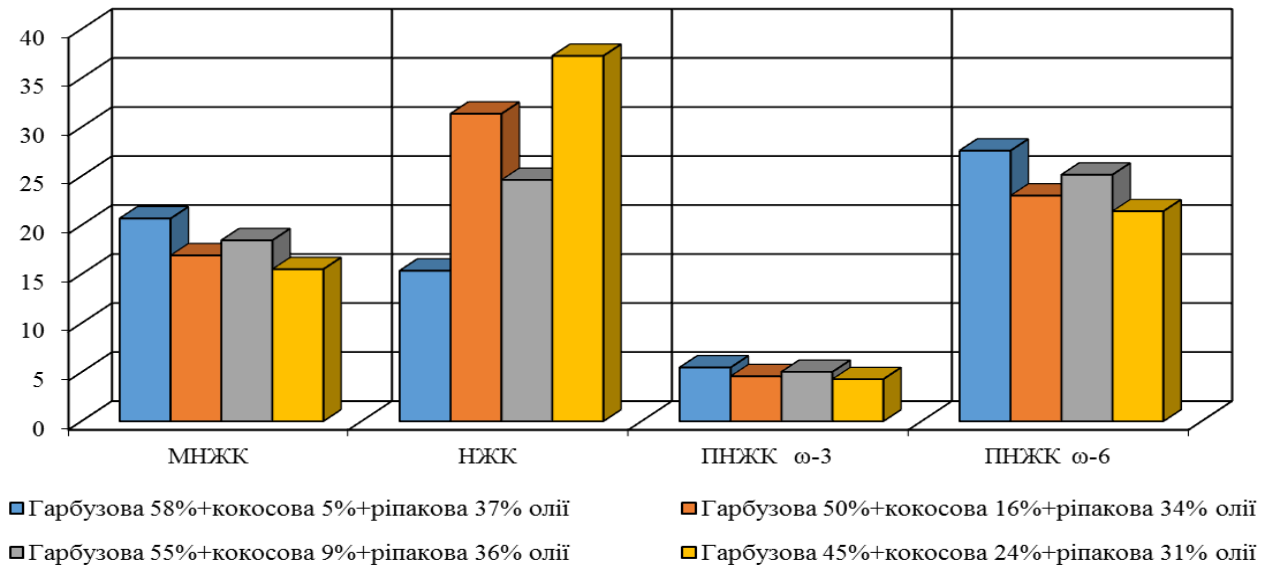


Рис. 15. Жирнокислотний склад розроблених купажів рослинних олій

Для приготування БЖЕ збалансованого складу використовували наступні складові: білок, купаж рослинних олій та воду у співвідношенні 1:10:10. Розроблені білково-жирові емульсії, до складу яких входили попередньо вибрані купажі рослинних олій та композиційна суміш тваринного білкаCAPremium95 та концентрату сухої сироватки КСБ-УФ-70 в співвідношенні 60:40. Складові розроблених рецептур БЖЕ представлено у табл13.

Таблиця 13.

Рецептури розроблених БЖЕ

БЖЕ №1	Купаж №1 (кокосова олія 5% + гарбузова олія 58% + ріпакова олія 67%) – 10 частин	Композиційна суміш CAPremium95 та КСБ-УФ-70 (0,6:0,4) – 1 частина	Вода (10 частин)
БЖЕ №2	Купаж №2 (кокосова олія 9% + гарбузова олія 55% + ріпакова олія 36%) – 10 частин	Композиційна суміш CAPremium95 та КСБ-УФ-70 (0,6:0,4) – 1 частина	Вода (10 частин)
БЖЕ №3	Купаж №3 (кокосова олія 16% + гарбузова олія 50% + ріпакова олія 34%) – 10 частин	Композиційна суміш CAPremium95 та КСБ-УФ-70 (0,6:0,4) – 1 частина	Вода (10 частин)

Продовження табл 13

БЖЕ №4	Купаж №4 (кокосова олія 24% + гарбузова олія 45% + ріпакова олія 31%) – 10 частин	Композиційна суміш CAPremium95 та КСБ-УФ-70 (0,6:0,4) – 1 частина	Вода (10 частин)

Органолептичний аналіз білково-жирових емульсій показав, що смако-ароматичні особливості кожної із олій, які використовувалися при їх виготовленні, знаходять своє відображення в готовій БЖЕ. Причому олії з яскраво вираженим смаком і запахом виявляються навіть при мінімальній їх частці у суміші.Реологічні характеристики емульсій притаманні дисперсним системам коагуляційної структури.

Збільшення кокосової олії впливало на реологічні характеристики БЖЕ, адже при кімнатній температурі кокосова олія по структурі подібна до вершкового масла і в комбінації з тваринними білками утворює більш міцну структуру.Результати досліджень граничного напруження зсуву розроблених БЖЕ наведені на рисунку 16.

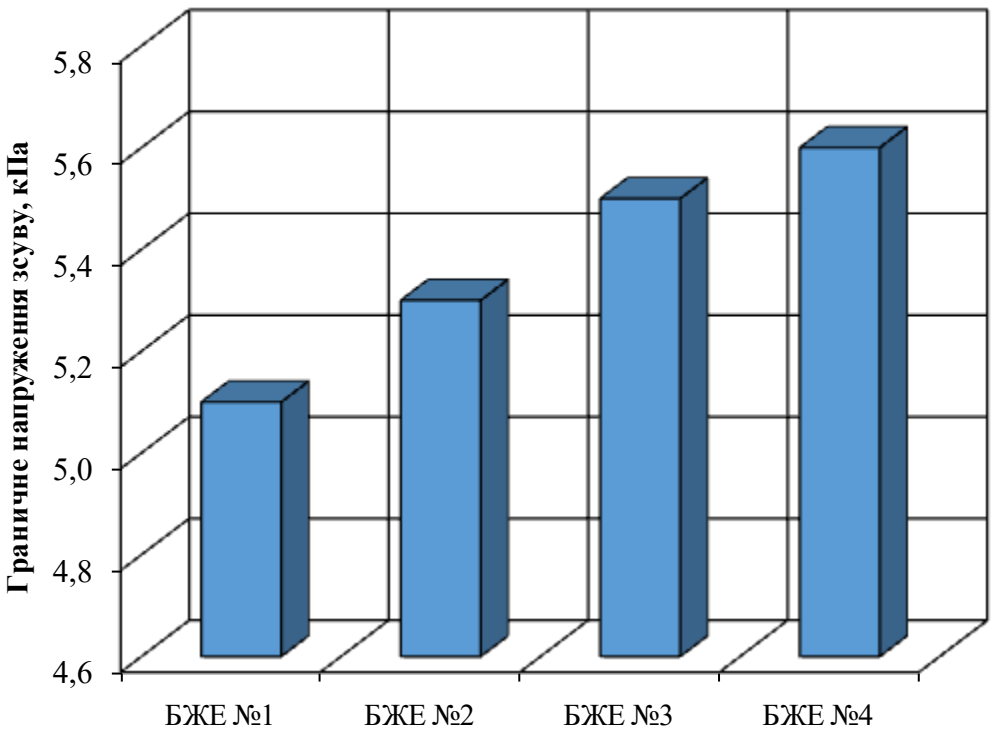


Рис. 16. Граничне напруження зсуву дослідних БЖЕ

Проведені дослідження показали, що всі розроблені БЖЕ характеризуються високими реологічними та функціонально-технологічними властивостями. Розроблені БЖЕ №3 та №4 володіють більш щільною структурою, вищою на вологоутримувальною, жироутримувальною здатністю та стійкістю емульсії (рис. 17).

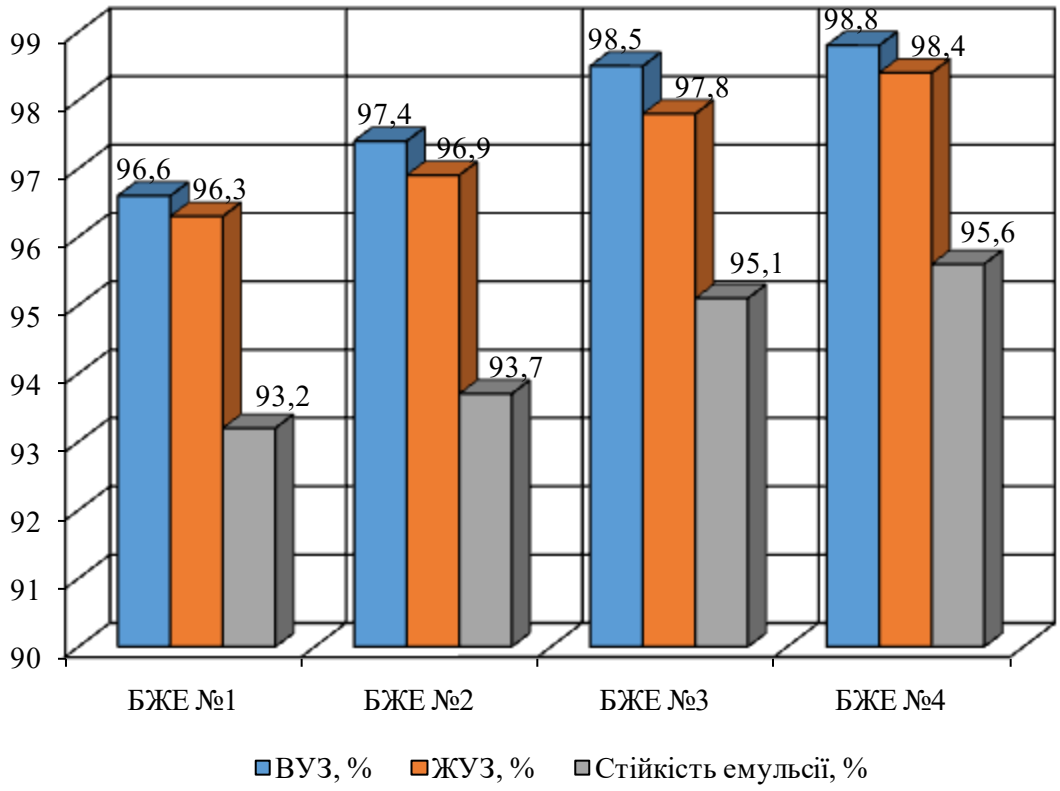


Рис.17. Функціонально-технологічні властивості розроблених БЖЕ

Встановлено, що рівень ФТВ емульсій знаходиться в прямій залежності від вмісту в купажі коксової олії, яка має високі структуроутворюючі властивості. Поєднання тваринних білків CAPremium95 та КСБ-УФ-70 (у співвідношенні 3:2) в композиційній суміші характеризується не тільки збалансованими амінокислотним складом, але й структуроутворюючими властивостями, сприяє отриманню стійких емульсій.

Для розробки рекомендацій з використання білково-жирових емульсій у виробництві посічених напівфабрикатів вивчені їх хімічний склад і

функціонально-технологічні властивості. Встановлено, що рівень функціонально-технологічних властивостей білково-жирових емульсій перебуває в прямій залежності від співвідношення компонентів, таких як молочний білок, білок тваринний та жировмісна сировина. Виявлено, що при зниженні тваринного білка та збільшення введення купажу олій змінюються співвідношення коефіцієнтів білок: жир і білок : волога. Відношення білок: вода є вирішальним чинником для стабільності та структурно-механічних характеристик емульсії. Рівень жиру впливає на ці показники менше, ніж вміст води в емульсії. Оптимальне співвідношення білок:вода:жир в білково-жирових емульсіях становить 1:10:10.

Білково-жирова емульсія №3 має високу стабільність, оптимальну міцність після теплової обробки. Як правило, такі емульсії дають низькі втрати при тепловій обробці, що ймовірно, пов'язане з їх здатністю утворювати на поверхні часток жиру еластичну й стійку при тепловій обробці плівку (мембрану), що захищає жирові глобули від злипання та плавлення.

Такі емульсії можна рекомендувати для виробництва м'ясопродуктів, тому що однією частиною білка зв'язується максимальна кількість води та жиру. Таким чином, використання розробленої білково-жирової емульсії при виробництві м'ясопродуктів дозволить одержати продукт високої якості, монолітної структури, з ніжною консистенцією, приємним смаком, ароматом і сприяє розширенню асортиментупосічених напівфабрикатів .

SECTION 2.
CHEMICAL TECHNOLOGY

2.1 Change of physical and mechanical properties of reinforced concrete at heating depending on a kind of the protective covering

For high-temperature and fire protection of reinforced concrete structural materials, effective thin-layer coatings on an organic basis have been widely used, which are conventionally divided by the method of protection into low-combustible and intumescent [73, 74]. Intumescent coatings are more effective, the high-temperature and fire action of which are achieved due to the intumescence of the initial composition at relatively low temperatures with the formation of a porous heat-resistant heat-insulating layer which is more than 1 cm thick [75,76].

Intumescent high-temperature fire-retardant coatings are compositions of organic and inorganic components. They consist of a bonds, filler, flame retardant and intumescent additives.Polymers areused as bonds because they are capable of cyclization, condensation, crosslinking and formation of non-volatile products, for example copolymers of vinyl, polyester, epoxy and organosilicon resins, etc. Dextrin, starch, sorbitol, salts of phosphate, boric and other acids can be used as intumescent agents [77, 78].

Intumescent coatings outperform others because, when applied to a reinforced concrete structure in a thin layer, they do not increase its weight, but significantly increase the temperature resistance, fire resistance and have a wide range of technological methods of application and are available in exploitation.

An important characteristic feature of building materials is their resistance to temperature effects on changes in physical and mechanical properties of coated reinforced concrete samples (Fig. 18). The strength characteristics of materials based on Portland cement (PC II / A-III), Portland slag cement (PSC III / A) at high temperatures have been studied. The study was performed after heating to a temperature of 473, 673, 873, 1073, 1273 K [79, 80].

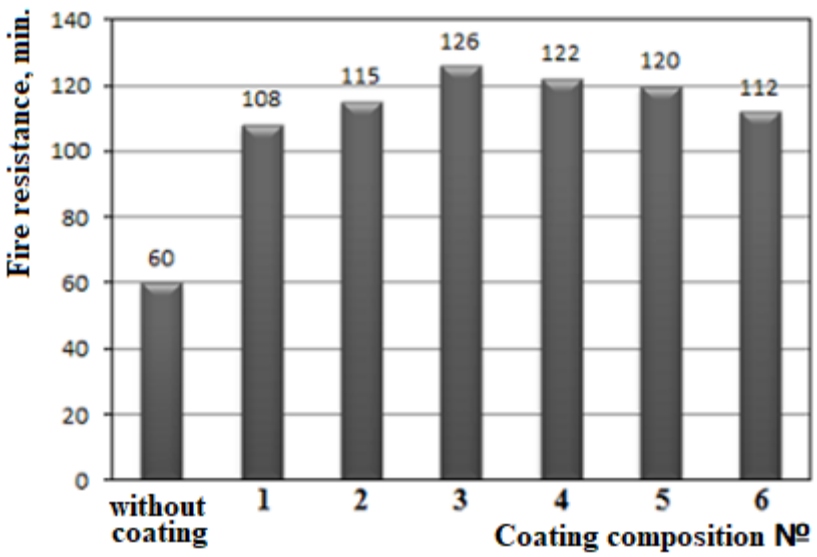


Fig. 18. Fire resistance of protected reinforced concrete samples

The characteristics of changes in the strength of reinforced concrete when heated after using the proposed composition of the coating are shown in Fig. 19.

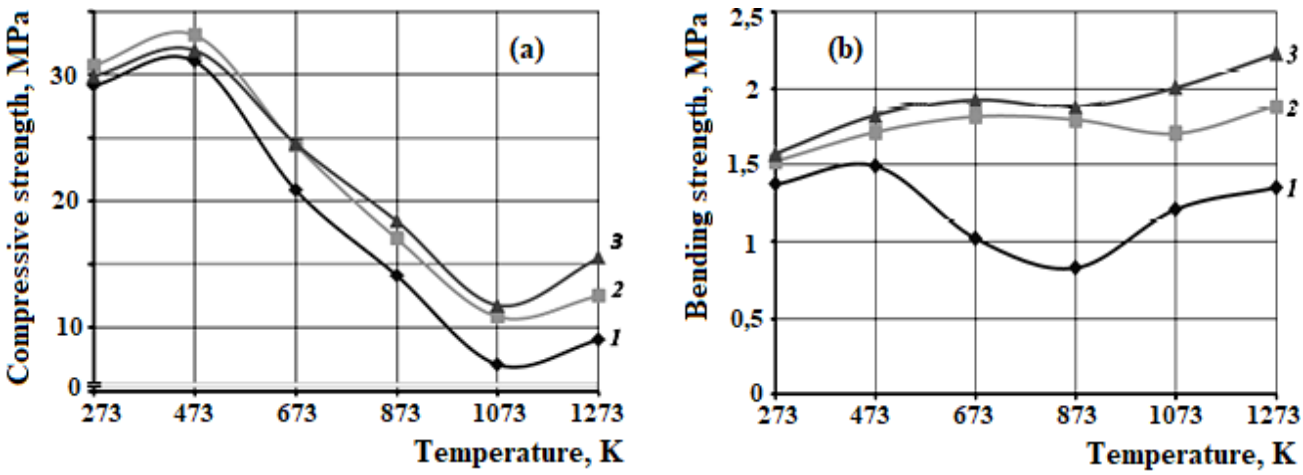


Fig. 19. Dependence of compressive strength (a) and flexural strength (b) of reinforced concrete on the heating temperature: uncoated (1); coated with a protective composition based on PC II/ A-III (2) and PSC III/ A (3)

It is discovered that when heated to a temperature of 473 K, the compressive strength of the samples increases by 4.5...5.0%, and the flexural strength by 7...12% due to the compaction of the reinforced concrete structure. In addition, water is

released from the gel-like components of the binder and the crystallization of calcium hydroxide, which is formed during the hydration of cement. Heating to a temperature of 673 K reduces the compressive strength of reinforced concrete at almost stable flexural strength. Such a significant decrease in compressive strength (25...50%) is observed when heated in the temperature range of 673...873 K, which is explained by the dehydration of the hardening products of cement. Meanwhile, the minimum reduction in compressive strength is observed for reinforced concrete based on Portland slag cement. It can be noted that the flexural strength of the samples decreases by 40% for unprotected coatings and by 12.5...25% for protected ones.

Further heating of the samples to a temperature of 1073 K leads to a decrease in the compressive strength of unprotected reinforced concrete by almost 85%, which can lead to its destruction.

It has been visually revealed that the surface of the samples is covered with cracks ranging in size from 3 to 30 mm. Further heating to a temperature of 1273 K leads to a slight increase in the compressive and flexural strength of the samples due to partial sintering of the material as active calcium oxide is formed from the sintered material.

The study of the deformable characteristics of reinforced concrete showed that when heated to 573 K, the modulus of elasticity of concrete (Fig. 20) decreases by almost 2 times due to the uneven expansion of its components due to the difference in temperature coefficient of linear expansion.

The largest decrease in E_0 (by 2.5 times) occurs in unprotected reinforced concrete. Heating in the temperature range of 573...873 K due to the large difference in the rate of thermal expansion of cement stone, its destruction due to dehydration reduces the modulus of elasticity to $0.12 \cdot 10^4$ MPa for ordinary concrete. For protected reinforced concrete, this figure is by 2.0...2.6 times higher. Further heating to 1173 K due to the destruction of the crystalline hydrate structure and the appearance of frame defects reduces the modulus of elasticity to $0.03...0.18 \cdot 10^4$ MPa. Therefore, the indicator E for protected reinforced concrete ($0.03 \cdot 10^4$ MPa)

indicates its practical destruction, while the protected samples have the appropriate strength, which is confirmed by the modulus of elasticity.

While heating the coated reinforced concrete, its porosity is changed and it significantly affects the physical and mechanical properties of the material. According to Fig. 21, the porosity of reinforced concrete begins to actively increase when heated to temperatures above 673 K.

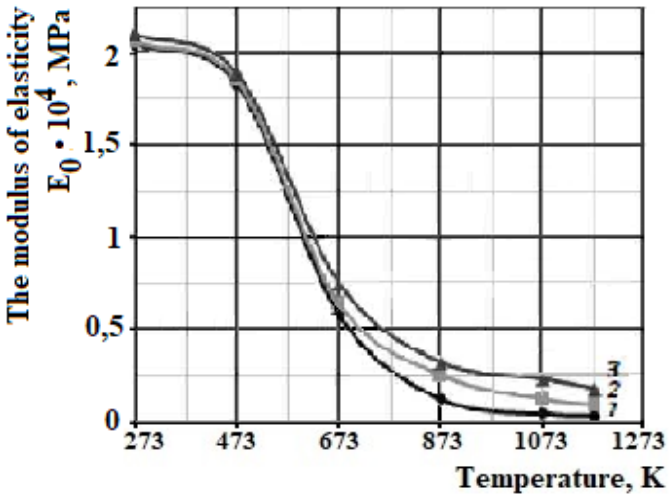


Fig. 20. The dependence of the elasticity modulus of reinforced concrete on the heating temperature:
without coating (1); coated on the basis of PC II/A - III (2) and PSC III/A (3)

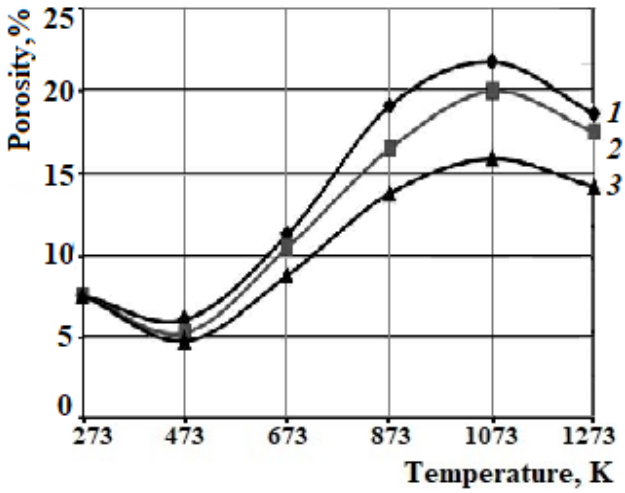


Fig. 21. Change of porosity of reinforced concrete protected by a covering when heated:
not protected original (1);
protected on the basis of PC II/A - III (2);
protected on the basis of PSC III/A (3)

It was found that in the temperature range from 673 to 1073 K, there is an increase in the porosity of reinforced concrete by 40...52% for reinforced concrete with non-reinforced and reinforced kaolin fiber.

Reinforced concrete based on Portland slag cement with a protective coating changes the porosity when heated in a less extreme way. Meanwhile, the increase in porosity in this range of heating temperatures is only 6%, which is explained by the formation of dehydrated particles of a thin film of glassy phase from the cement slag component and stabilization of structurally active components on its surface.

Due to the phenomenon of adsorption modification of the surface of individual components of reinforced concrete, protective coating may get favorable conditions for the formation of minimally tensed microstructure, resulting in higher strength, compared with samples based on Portland cement binder [80].

Heating of all test samples in the temperature range from 1073 to 1273 K leads to a decrease in porosity by 10...18% due to partial melting of the coating surface.

The effectiveness of fire protection of the developed compositions of protective coatings of reinforced concrete structures has been experimentally proved. It has beendiscovered that the fire resistance for heat insulating ability of protective materials is 108-126 minutes, which is 1.8-2.1 times higher than of unprotected ones.

Protective coatings based on filled polymethylphenylsiloxane (PMFS) increase the compressive and flexural strength of reinforced concrete by 2.0...2.4 times in the temperature range of 673...1273 K. The modulus of protected reinforced concrete elasticity in the temperature range from 573 to 873 K is 2.0...2.6 times higher than the original.

Taking into account the results of the study, it can be argued that the compositions based on kaolin and aluminum, zirconium oxides of PMFS can be used as a high-temperature protective coating for reinforced concrete, which allows to further improve the protective properties of coatings for reinforced concrete structures.

SECTION 3.
COMPUTER SCIENCE

3.1 Features of filters application for image processing

Digital processing techniques allow transforming images to enhance their visual perception. Also, in this field the presentation of the images changing problems are solved to ensure their storage, transmission, visualization in electronic form and further analysis of the information contained. Researching, developing methods and algorithms for information processing and analyzing presented in the form of digital images, this is a very urgent task.

These days, due to the technological dynamic development progress in the field of optical systems, computer technologies and telemetry, the technology of digital image processing are rapidly developing. At present, these technologies are becoming more and more popular in a number of fields, such as microbiology, astronautics, meteorology, etc. However, before performing image operations (stitching, combining, etc.), a number of transformations are required.

Pre-processing images that include filtering is not a one-step process. While composing or stitching images, there are a lot of complications due to the various reasons that cause the image pre-processing. In fact, a pair of images obtained from identical receivers with identical optical systems, which is the same for the human eye, is different for technical systems. Basically, this difference is due to two reasons:

- ✓ the first is the inability to maintain the same level of the object or surface illumination of the base;
- ✓ the second is related to the image forming and processing system.

Methods for the image pre-processing at the software level are primarily the image averaging, which is the basis of the convolution.

Averaging is the most important step in low-level image processing. In the simplest case, averaging determines the mean value of the luminance levels of the underlying surface. In this case, the objects are recognized as areas of constant energy

brightness. However, in reality, the intensity of the image changes over a certain range, makes it impossible to separate the object from the underlying surface background. Using one trait, which in turn leads to a multicomponent or vector image of the trait. Thus, the averaging task should also be applied to vector images. Currently, a number of noise reduction filters have been developed and are being actively applied, the main method of them is averaging. Figure 1 provides a brief description of the most common filters used to average the image, depending on the type of image noise.

According to the diagram (Fig. 22), the selection of a particular processing filter of a certain image should be made according to the type of image noise:

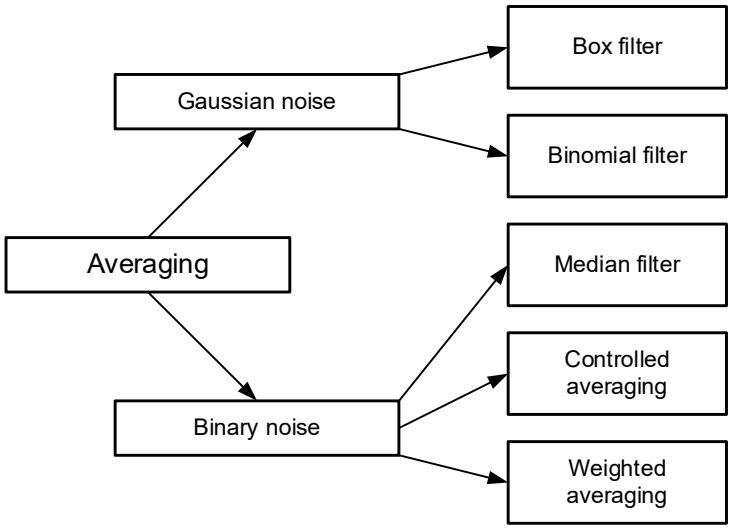


Fig 22. Averaging types of classification

Linear averaging filters, which include a filter box and a binomial filter, effectively suppress Gaussian noise. The principle of linear filters is based on the sum of the number of pixels inside the mask and the amount division by the number of pixels. It is obvious that such smoothing filters work on a small area and, in addition, lead to a weakening of the structure with a high wave number. Thus, the main disadvantages of linear averaging filters are: contour blurring, as well as in the case of the mask crossing of the contour filter boundaries, the result becomes useless due to the fact that it contains both image pixels and background pixels. In addition when

using linear filters, it is assumed that each pixel carries some useful information. However, when forming and processing an image, the pixels disturbed by errors lose the original brightness level, and thus during the image processing with the linear filter, this information will not be excluded but will be transferred to neighbouring pixels.

The median filter, which is related to nonlinear is deprived of these shortcomings. The main advantage of this filter is the suppression of binary noise. The principle of work is that the pixels inside the filter mask are ordered, as a result, one pixel is selected (in particular, the median filter selects the average value), after which the brightness of the disturbed pixel will be restored. As for the use of median filters, they suppress double noise well without blurring the image but less effectively eliminate Gaussian noise.

The idea of controlled averaging is that this filter has certain freely adjustable parameters that control the filtering process. The main advantage of this filtering scheme is the ability to create a convolution mask, which will depend on the texture of the image.

As for weighted averaging, in this case, each pixel is included in the sum of the convolution with its own weight factor [81]. Thus, low-level image processing is a complex task and depends on many factors and specific goals. In addition, when choosing a filter you need to focus not only on the type of noise but also on the image itself.

During filtering, the brightness characteristics of each point of the image in digital format are replaced by another brightness value, which is recognized as the least distorted obstacle [81, 82]. There are frequency and spatial filtering [81].

Spatial image enhancement methods are applied to raster images presented as two-dimensional matrices. The principle of spatial algorithms is to apply special operators to each point of the original image. Rectangular or square matrices (masks, cores or windows) act as operators [81, 87, 88]. Most often, the mask is a small two-dimensional array, and improvement methods based on this approach are often referred to as mask processing or mask filtering. During the linear filtering, the mask

response is set by the sum of the products of the pixels in the filter coverage area. As a linear smoothing filter, an averaging filter of initial values is used, the average value of which is around the filter mask [81]. Such a filter is used for problems of grain size extraction caused by impulse noise [87, 88]. The general response formula of an averaging filter designed to filter an image f with dimensions m × n has the form [81]

$$g(x,y)=\sum_{s=\frac{(m-1)}{2}}^{(m-1)/2}\sum_{t=\frac{(n-1)}{2}}^{(n-1)/2} w(s,t)f(x+s,y+t),$$

where $w(s, t)$ element of the image convolution core, with dimensions $m \times n$;

$s \in [-m/2, m/2]$, $t \in [-n/2, n/2]$ – the coordinates of the convolution nucleus along the abscissa and ordinate axes;

$x = 0,1,2,\ldots,M\text{-}1$, $y = 0,1,2,\ldots,N\text{-}1$ – coordinates of the original image f.

The principle of nonlinear spatial methods operation is similar to linear filters. The operations performed by the nonlinear filter depend on the values of the image matrix elements that are in the analyzed environment.

In median filtering, the pixel value is the average value of the points in the corresponding neighbourhood. Often, when solving noise reduction problems, the median filter is more efficient than the conventional averaging because it leads to less distortion of selected objects boundaries. A two-dimensional window with central symmetry is used as a mask during median filtering, and its center is located at the current filtering point [82]. The formula of the two-dimensional median filter is determined by the expression

$$G_{i,j}=med\left[E_{i+s,j+t};(d,t)\in W\right];\ \ i,j\in Z^2,$$

where $[G_{i,j}]$ – image matrix element after filtering;

$[W_{s,t}]$ – the element of the image aperture array with $m \times n$ dimensions;

$[E_{i,j}]$ – matrix element of the original image.

Adaptive filtering is based on the Wiener filter, which is one of the linear filter types for adaptive local image processing [82]. If the value of the of the pixel intensities standard deviation in a given local region is large, the Wiener filter

performs a small smoothing and, conversely, with a smaller deviation, the smoothing area is larger [82]. This approach is often more efficient than conventional linear filtering. Another advantage of the adaptive filter is that it preserves the edges and other high-frequency parts of the image objects. However, the Wiener filter requires more time for calculations than the linear filter [82].

3.2 The use of mixed-type flat trees in data processing in computer programs

Широке впровадження мережевих технологій призвело до наявності доступу до мережі Інтернет у більшості мешканців, особливо це стосується активної частини населення. Наявність вільного доступу до мережі відкриває все більше можливостей, які раніше були недоступними, а зараз широко впроваджуються у діяльність людини.

Однією з задач, вирішення якої стало можливим з використанням мережі Інтернет, є організація попередньої віддаленої реєстрації осіб для участі у різноманітних заходах. В якості таких заходів можуть виступати тренінги, семінари, презентації тощо. Запровадження віддаленої реєстрації на подібні заходи дозволяє вирішити велику кількість проблем, які виникали раніше. Однією з основним проблем було обмеження кількості осіб, які приймають участь у заході. Раніше питання залучення осіб для участі у заходах вирішувалося розсилкою запрошень або публікацією оголошень, що часто призводило до проблем пов’язаних з не заповненням або переповненням аудиторії. Проведення попередньої онлайн-реєстрації бажаючих прийняти участь у заході дозволяє легко спрогнозувати такі параметри заходу як кількість осіб у аудиторії, необхідність організації декількох потоків або днів проведення тощо.

У сучасних умовах актуальною є задача обробки реєстраційних даних з подальшим їх групування за обраними ознаками. Наприклад, необхідність розв’язання такої задачі виникає під час попередньої реєстрації учасників

різноманітних тренінгів, семінарів, заходів сертифікації тощо та формування їх відповідного розкладу. При цьому повинно враховуватися:

– необхідність реєстрації учасників на обраний потік (дату) заходу;

– обмежену кількість груп у потоці;

– обмежену кількість учасників у групі;

– неприпустимість реєстрацій учасника у декількох потоках та групах;

– мінімізацію кількості груп у потоці, тобто наступна група створюється після заповнення поточної;

– можливість скасування реєстрації учасника з видаленням його з групи та потоку з подальшим заповненням вільного місця.

Під час реалізації такої задачі пропонується використовувати структуру даних динамічне плоске дерево змішаного типу, на першому рівні якого буде знаходитися відповідно кількість потоків, піддерева потоків будуть формувати другий рівень дерева, на якому зберігатимуться групи потоків, а піддеревами кожної групи будуть бінарні дерева пошуку, кожний вузол яких уявляє собою конкретну особу [89, 90, 91].

Використання бінарних дерев дозволить виконувати швидке додавання учасників до групи з їх одночасним сортуванням, що спростить формування списків груп. Крім того, застосування бінарних дерев збільшить швидкість виконання операцій пошуку учасника, яке необхідно для його інформування або для запобігання дублювання реєстрації особи.

Для реалізації розподілу учасників між потоками та групами в комп’ютерному додатку пропонується створення об’єктно-орієнтованої моделі, яка базується на чотирьох класах, які ієрархічно включають один одного. Клас «учасник» реалізує елемент бінарного дерева, який містить інформацію про учасника заходу. Клас «група» реалізує механізм роботи з бінарним деревом, елементами якого є вузли класу «учасник», і який призначений для зберігання та керування інформацією про створену групу учасників. Перший рівень дерева змішаного типу базується на класі «потік», який містить n-елементів типу «група», де n – кількість груп на потоці. Корінь плоского дерева змішаного

типу реалізується класом «захід», який містить посилання на m вузлів типу «потік», де m – кількість потоків, передбачених розкладом проведення заходу. Графічне уявлення об’єктно-орієнтованої моделі, що пропонується, наведено на рис.23.

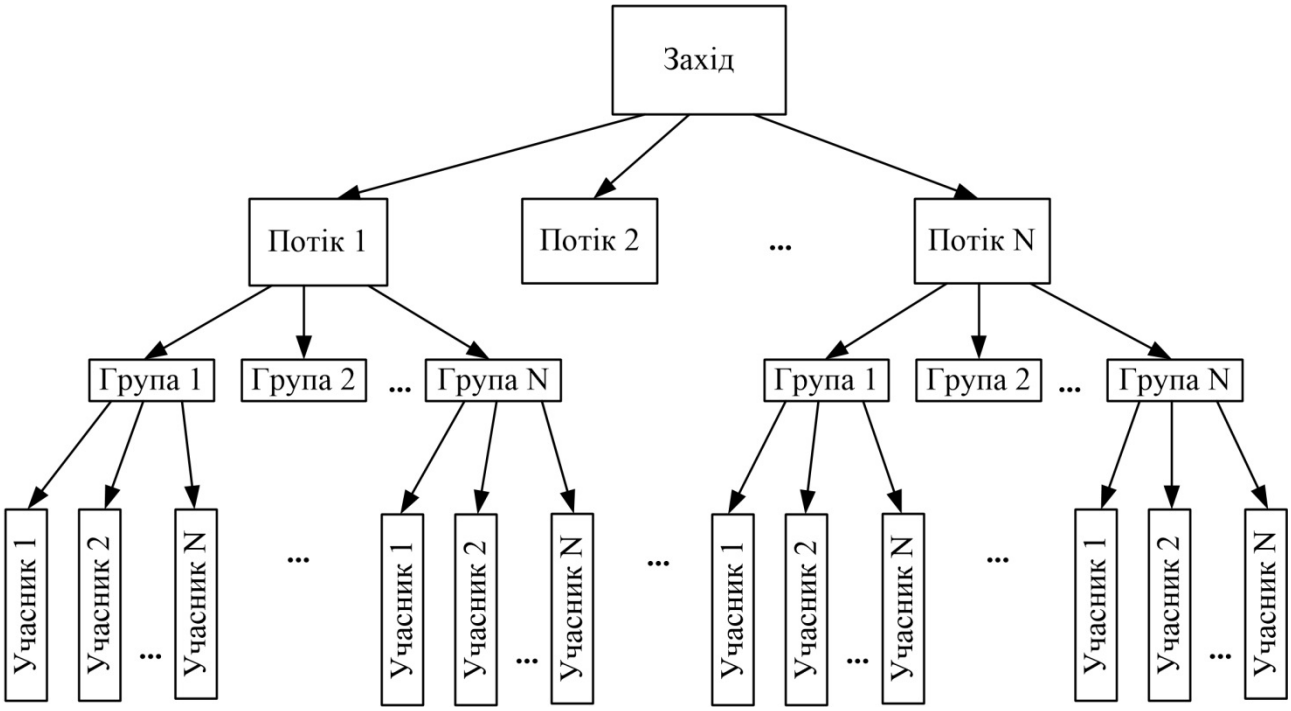


Рисунок 23. Графічне уявлення об’єктно-орієнтованої моделі

Розроблена модель була використана під час реалізації автоматизованої системи реєстрації для участі у творчому конкурсі вступників до закладу вищої освіти. Вхідні дані для роботи системи визначені відповідно до Порядку організації та проведення творчих конкурсів для вступників на навчання для здобуття ступенів вищої освіти та освітньо-кваліфікаційного рівня молодшого спеціаліста в 2019 році [92]. Для участі в творчому конкурсі вступники подають:

– заяву в паперовій формі (форма заяви затверджується приймальною комісією закладу освіти);

– оригінал та копію документа, що посвідчує особу;

– кольорову фотокартку розміром 3 х 4 см;

– документ про повну загальну середню освіту або довідку закладу освіти про завершення її здобуття до 10 липня;

– а також свої персональні дані.

Попередня електрона реєстрація вступників здійснювалася за допомогою Google-форми, наведеної на рис. 24.

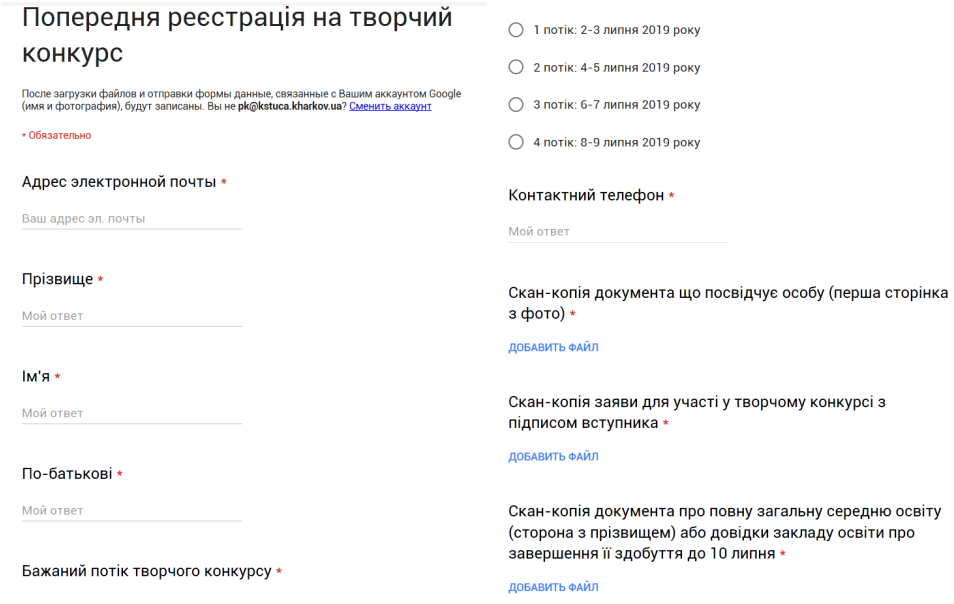


Рисунок 24.Google-форма реєстрації вступників

При цьому для збереження файлів, завантажених вступниками, використовувався google-диск. Загальна схема обміну інформацією між автоматизованою системою та зовнішніми сховищами наведена на рис.25.

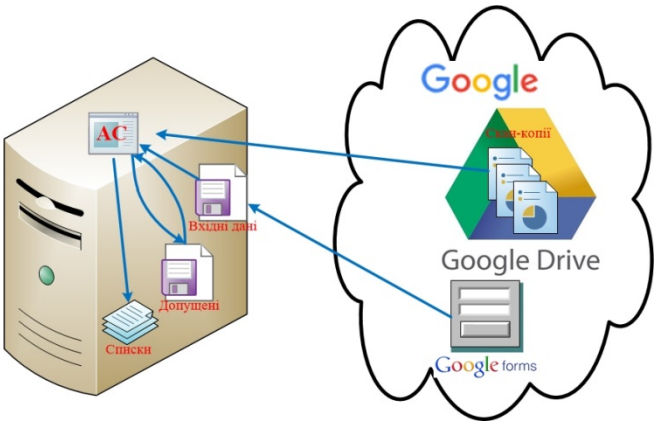


Рисунок 25. Загальна схема обміну інформацією між автоматизованою системою та зовнішніми сховищами

На основі проведеного аналізу було виконано об’єктно-орієнтоване проектування системи та побудована її об’єктно-орієнтована модель [93, 94]. Під час проектування було виділено 5 класів та один користувацький тип даних, які наведено на діаграмі класів (рис. 26).

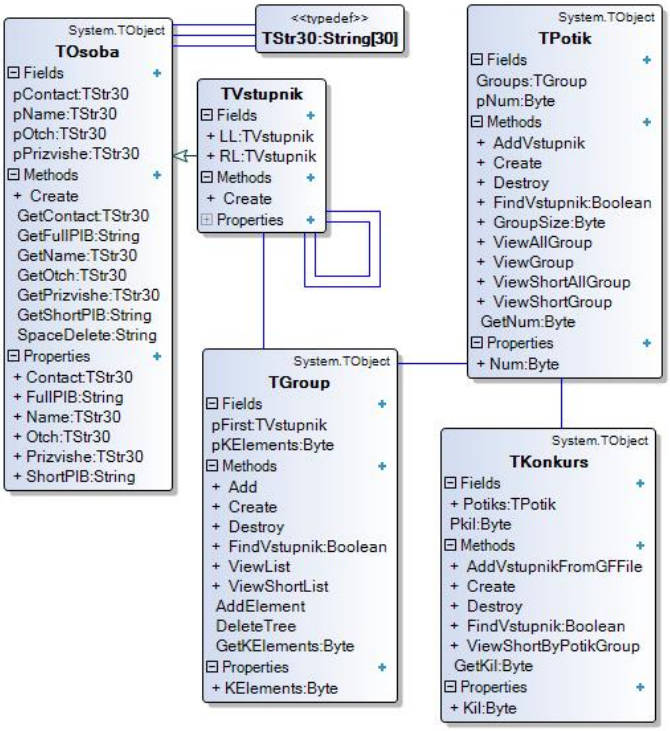


Рисунок 26. Діаграма класів

Призначення класів системи наведено у табл.14.

Таблиця 14.

Призначення класів системи

Назва класу	Призначення
TOsoba	Містить інформацію про людину
TVstupnik	Є нащадком класу TOsoba та призначений для уявлення вступника як елемента бінарного дерева
TGroup	Використовується для уявлення групи вступників у вигляді бінарного дерева

Продовження табл 14

TPotik	Призначений для уявлення одного потоку проведення творчого конкурсу, який містить декілька груп вступників
TKonkurs	Головний клас системи, призначений для управління реєстрацією вступників на творчий конкурс в цілому

В результаті програмної реалізації об’єктно-орієнтованої моделі було створено автоматизовану систему, яка дозволяє виконувати реєстрацію вступників для участі у творчому конкурсі та їх розподіл за групами та потоками з використанням структури данихдинамічне плоске дерево змішаного типу. Створена автоматизована система дозволяє здійснювати перегляд та перевірку поданої вступником інформації (рис. 27-28) з подальшим прийняття рішення про допуск до участі у творчому конкурсі.

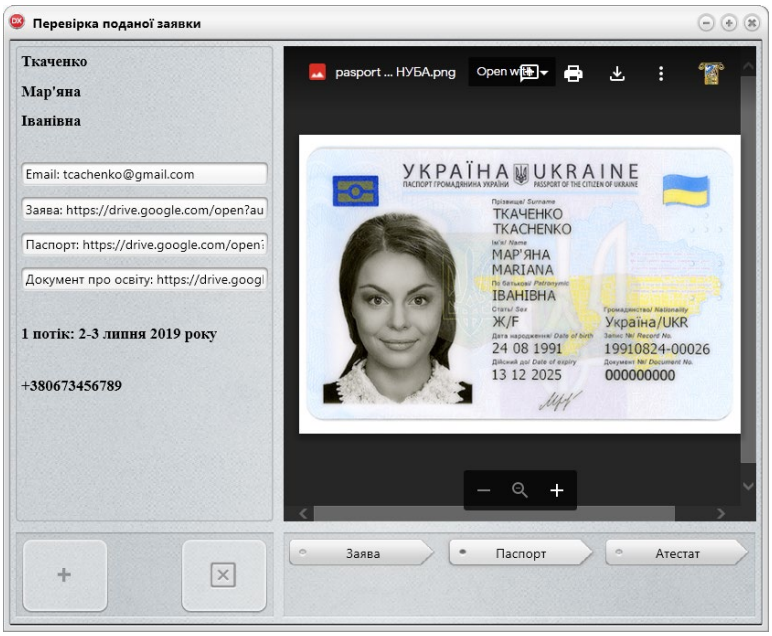


Рисунок 27. Відображення інформації про вступника

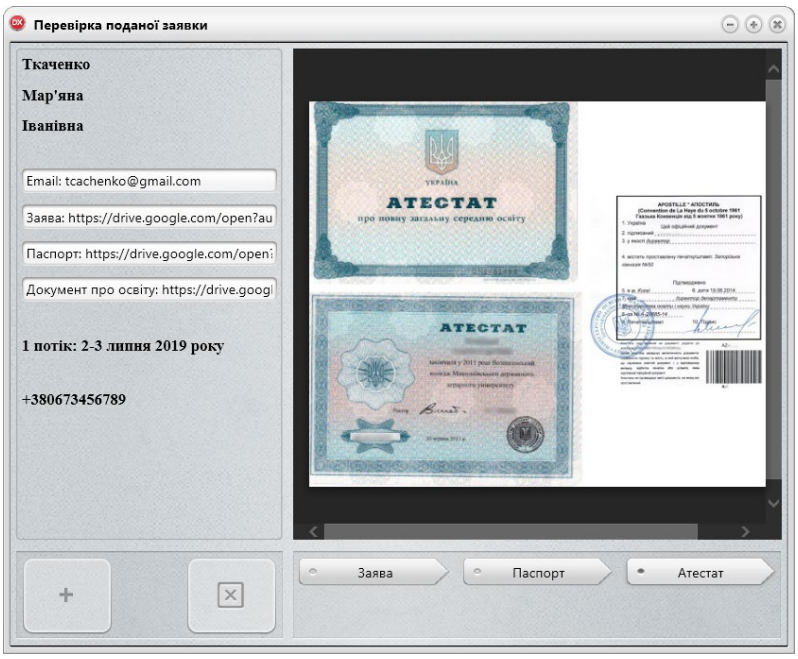


Рисунок 28. Перегляд атестата вступника

Після допуску вступників системою автоматично виконується їх розподіл за потоками та групами, з подальшою генерацією відповідних списків (рис. 29), які можуть бути збережені у зовнішніх файлах.

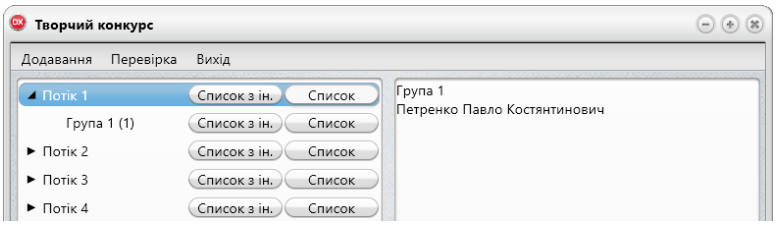


Рисунок 29. Відображення списку вступників

За результатами розробки автоматизованої системи, можна зробити висновок про доцільність використання структури данихдинамічне плоске дерево змішаного типу для реалізації програмних засобів, призначених для реєстрації осіб для участі у різноманітних заходах.

3.3 Curvilinear finite-element modeling in stability problems of thin shells with shape imperfections

The first papers on the theory of shells appeared at the end of the nineteenth century in Germany and England [95]. The approaches and methods of structural mechanics for calculating shells were focused on numerical implementation of calculation schemes and reduction of a large number of calculations. These included such approaches as the methods of moment and angular focal relations, the Cross method, the method of redistributing the initial angular deformations, the elastic center method and others [96].

Due to the advent of computers in basic researches of the structural mechanics was observed a transition from narrowly oriented techniques of solid mechanics and mathematical physics to the approaches and methods for constructing computer models of structures. An intensive development of numerical methods began. These methods were based on discretization of differential equations (grid method), potential energy functional (variational-difference methods). For example, at the beginning of the 60's in Kyiv (Ukraine) two scientific schools were formed, in which the software complexes were created for solving the problems of calculating structures: at the Department of Structural Mechanics of Kyiv National University of Construction and Architecture known as the school of Wainberg D.V. [97] (Sinyavsky A.L., Sakharov A.S., Gulyaev V.I., Bazhenov V.A., Dekhtyaryuk E.S., Gotsulyak Ye.O., Kislooky V.N., Gulyar A.I., Solovey N.A. and others), which developed variation-difference methods for solving problems of plates and shells; school of Sosis P.M. and Dmitriev L.G. (Gilman G.B., Glikin I.D., Gorodetsky A.S. and others), which used the method of displacements, rod approximation for discretization of plate systems and the step method for solving nonlinear tasks.

The most powerful numerical method for solving the problems of mechanics of a deformable solid body is the finite element method (FEM). Through versatility and algorithmicity this method is used for calculating complex structures and is basis of software complexes of wide use. The ability to reflect the real aspects that arise in

applied problems explains the popularity of the FEM. This method opened up new possibilities for computer modeling of complex constructions. It is believed that Courant R. in 1943 was the first who proposed the FEM in its present form [4]. The main prerequisite of the development of this method was efficiency of an automatic constructing of the models and possibility of the solution of a system of the algebraic equations of high order. Since the middle of fifties, the finite element method had undergone the series of modifications. Among the works of that time, the early works of Zienkiewicz O.C., Cheung Y.K., Turner M.J., Clough R.W., Martin H.C., Topp L.J. and also the works of Korneev V.G. and Rozin L.A. However, a number of disadvant ages in the finite element method were found: reduced accuracy in calculating stresses and the forces compared with displacements; the presence of discontinuities on the boundaries of the finite elements with absence of boundary conditions expressed in tensions and efforts; problems of conditionality in solving systems with large amount of equations.

In the 70-80's the methods were based on variational formulations different from the displacement functional: the stress method, which used the Castigliano additional energy functional; a mixed method in which displacements and stresses were unknown; hybrid methods, in which the unknowns were nodes displacements and derivatives of stresses on the boundaries of elements; the method of boundary integral equations, which allowed to express the values of displacements within a region through their values on the boundary. No significant alternative of FEM in displacements could be found; therefore, the development directions of refined finite elements and methods of mathematical physics for solving problems of dynamics, stability, physical and geometric nonlinearity began to develop intensively. Historical review of the development of FEM from an engineering point of view and the general provisions of this method were given in the Zienkiewicz's book [98].

Nowadays the calculation of the stress-strain state, stability and vibrations of shell structures in a geometrically nonlinear formulation exists in such industrial computing complexes as: "MEKRIS-2", "STRENGTH-75", "REDBAZ", "LIRA", "SCAD", "ANSYS", "NASTRAN" and others. Shells of arbitrary shape, as a rule, are

represented as a set of flat finite elements, which do not take into account the connectivity of fields of a flat and a flexural stresses in the region of the finite element. When trying to create calculated ratios of an arbitrary curvilinear finite element with traditional approximation of scalar functions, the problem of rigid displacements arises, that is, loss of accuracy of calculations when moving shell elements without tensile-compression deformations []. Consideration of rigid displacements of deformable elements is especially important for solving geometrically nonlinear problems of stress-strain state and stability of thin shells. It should be noted the obtaining of reliable results of solving the problems of stability and dynamics of thin structures is associated with certain difficulties. First of all, there is the problem of choosing a finite element. If for plates there is a set of reliable finite elements which adequately describe the mechanics of their deformation under any load, then for the thin shells the situation is completely different.

The literature above describes a large number of finite elements, with which the test calculations are compared. There is not such finite element that would completely exclude the error of approximation of rigid displacements for the case of very thin shells. This error has a significant effect on the convergence of solutions. To improve the convergence of solutions the various ways are offered in the literature. The most of them commonly used transition in each FE to a straight-line coordinate system. In particular, for solving the problems of the theory of shells the transition to plane cross sections are presented. Another path involves using of more amount of iso-parametric finite elements, for which the geometry of the surface is consistent with the function of the form. All of these approaches can limit using of such elements or will artificial produce of undesirable effects. Problems of constructing a matrix of stiffness of a curvilinear finite element and ways of their solution are described by O.I. Golovanov and M.S. Kornishin. Proceeding from the analysis we can conclude that none of the many approaches to constructing a shell curvilinear finite element did not lead to a positive result. They said, we could not obtain a matrix of rigidity that would have properties similar to those of a matrix of rigidity of a plane finite element relative to the accuracy of approximation and the convergence of the solution. Also, it is known that

the distorted elements for the shell designs are the most accurate and economical, in practice, using of flat elements can obtain the necessary accuracy due to their large amount. In many cases, this approach justifies itself, as it is easier for an engineer to approximate a distorted surface with simple flat elements than to construct complex elements that require the development of more complex applications.

The obvious advantage of finite element method consists in the ability to modeling of a large number of structural elements - plates, stiffness ribs, three-dimensional bodies, non-standart elements of shells and etc. Many of the modern researchers are working on the construction of new finite-element models and the further improvement of schemes and algorithms for describing specific phenomena [99]. An original approach to the creation of a curvilinear finite element is contained in the works of O.S.Saharov [96]. He proposes a so-called the moment scheme of finite elements (MSFE). In this scheme, when the deformation function in the Taylor series is decomposing, only those members of the series are contained which are precisely described on the basis of the adopted law of displacement distribution. The number of members of a row for each the components of the deformation tensor are in strict accordance with the order of approximation of displacements.

Libraries of finite elements of modern software complexes LIRA and SCAD [96, 97], which widely are used in Ukraine, contain a large number of finite elements that simulate the work of various types of constructions, but they do not contain distorted elements of the general type. In order to obtain more reliable results in the calculation of thin structures by universal software complexes will be desirable to include in a library of finite elements the such distorted shell elements. It is especially important in the calculation of geometrically nonlinear problems of the stress-strain state and stability of the thin shells. The modification of the finite element method for calculation of these problems is presented by Gotsulyak Ye.O. and authors of this paper (the school of Wainberg D.V., Kyiv, Ukraine) in works [100]. The construction of the stiffness operator of a curvilinear finite element is based on the vector approximation of the displacement function, represented by the Maclaurin series, their coefficients are the values of the required vector-function and its

derivatives at the center of the finite element. The transition to scalar computing relations is carried out after their algebraization. It allows to consider the proposed scheme as a generalization of network methods with respect to the discretization of relations written in a curvilinear coordinate system. This approach also was developed on the stability problem of thin shell with shape imperfections.

Initial imperfections are main factor which decreases the value of the critical load, therefore the development of methods determining the critical loads of imperfect shells remains one of the central problems of mechanics of the deformed solid [101]. One of the first who studied the sensitivity of the critical load to initial geometric imperfections was L.G. Donnel. The asymptotic method played an important role in the development of the theory of stability of imperfect shells. Koiter proposed the approach which allowed to estimate the sensitivity of structures to imperfections by the value of the first non-zero coefficient of power dependence of the critical load from the amplitude of the bifurcation form. In this case, it is assumed that random nature of shell imperfections is determined by one component, which coincides in appearance with the lowest buckling form. The Koiter method has found application mainly in the study of cylindrical and spherical shells, for which the poor correlation between experimental and theoretical results is especially characteristic. Also, the approaches are developed, in which the initial imperfections of the shells are directly entered into the geometric parameters of the computational scheme and the solution of the nonlinear problem is performed by numerical methods. The results of the study of stability of thin shells with real imperfections and the simulation of imperfections in the buckling form which use the FEM are presented in [101]. In case of studing of shells with real imperfections, at first the geometry of the canonical form of the shell is created, and then it is corrected in accordance with the actual deviations of the surface of the shell from the ideal. For modeling imperfections in the form of buckling form, at first its finite element model of thin shell with a perfect surface is constructed, then the linear stability problem is solved. The designing of geometrically nonlinear models of imperfect shells with the help of the considered

methods takes a lot of time. Also, their disadvantage is the possibility of approximation of the shell surface only by flat finite elements.

The authors presented in their monograph [96] a modification of finite element method for forming geometrically nonlinear models of thin shells with shape imperfections and proposed methods for solving of stability problem. This technique presents the shell model as system of the nonlinear algebraic equations and takes into account the curvilinearity of the finite elements and the imperfections of its walls as the initial perturbation of the solution. The stiffness operator of a curvilinear finite element is based on the vector approximation of the displacement function, represented by the Maclaurin series. The systems of nonlinear algebraic equations are solved by the step-by-step methods with constructing a nonlinear dependence of the displacement from the load, linearization of the calculated equations at each step is performed. It is known that the large size of the nonlinear stiffness operator of the finite element due to addition to the linear stiffness matrix of the quadratic and cubic components of this operator makes obtaining nonlinear finite element relations are difficult. It makes sense do at the level of creating a rigidity operator to perform its linearization. In this approach, it is sufficient to create a linearized stiffness matrix of the finite element, the vectors of residuals and loads. Using the regularization procedure of the stiffness matrix at the limiting points of the equilibrium curve it is possible to investigate the behavior of a thin shells with shape imperfections in the critical and the postcritical states.

SECTION 4.
ELECTRICAL ENGINEERING

4.1 Optimization model of power management of consumers-regulators for equalization of the total graph of electric load of transformer substation 10/0,4 kv

Highlighting the stationary sections on electrical load graphs that was done in [109] allows you to use is the two simplest numerical characteristics – mathematical expectation and standard deviation to describe the process of load modes.

For a reliable description of the load change processes TS 10/0,4 kV probabilistic modeling method was used. Using the measurement data, the values of the numerical characteristics of the studied processes were obtained at the stationary sites and a probabilistic mathematical model of loading was constructed. The calculated value of the load is found by the formula:

$$P_i(t) = M[P_i(t)] + \beta\sigma[P_i(t)], \qquad (1)$$

where $M[P$ - mathematical expectation of load at time t,

$\sigma[P$ – standard deviation of load at time t,

– coefficient of scatter of random load magnitude, which takes into account the intensity of scatter of random load values near the accepted design value.

Probabilistic mathematical model of loading TS 10/0,4 кV in the mode of maximum (Fig. 33) loads.

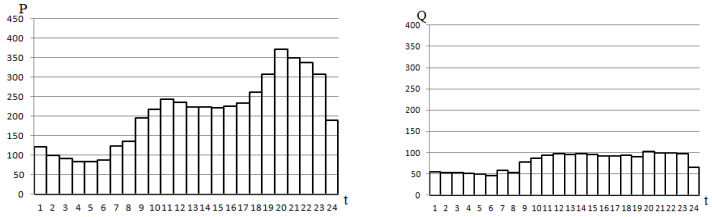


Fig. 33. Probabilistic mathematical model of loading TS 10/0,4 кV in the maximum load mode: active; reactive load

The simulated electrical load graphs allow taking into account the real process of load behavior, which is an important task for performing qualitative modeling of the work of consumers-regulators.

For the management of the electrical load graph, it is necessary to have an economic incentives for the regulation of the electrical load graph, which provide a change in the price of electricity by hours of day and seasonality.

The level of technical loss in electrical networks depends on the losses in lines and step down transformers 10/0.4 kV, i.e. on the nature and magnitude of the change of the electrical load graph.

Thus, optimization of the mode [110] is reduced to management the process of power consumption of consumers-regulators.

Considering the mode of operation of transformer substation 10/0,4 kV, we will define that under the main load of transformer substation 10/0,4 kV we will understand the unregulated load of consumers connected to transformer substation 10/0,4 kV, and under the concept of load of consumers-regulators - attached load of a special group consumers-regulators that power can be controlled.

The consumers-regulators management process can be considered as a mathematical problem [111]. The mathematical model of the optimization problem includes the objective function, constraints and boundary conditions.

Load optimization criterion transformer substation 10/0,4 kV is the total minimum cost of the additional costs of the energy supply organization to cover the losses of electricity caused by the unevenness of the electrical load graph and for the consumed electricity to carry out the technological process of consumers-regulators.

The optimized parameters are the power of the consumers-regulators at the i-th intervals (. The coefficients for the consumers-regulators load optimization problem are tariff coefficients (, that are valid for a given period of time.

It is necessary to minimize the objective function that takes into account the technical component - the loss of electricity and the economic component - the cost for the consumption of Electric Power, taking into account the tariff coefficients [112]

$$B = T \cdot \left(\sum_{n=1}^{N} \sum_{i=1}^{T} \left(\frac{(P_i(t) + P_{CRi})^2 + Q_i^2}{U_l^2} \cdot r_l \cdot t_i \right)_n + \right.$$

$$+ \sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{T} \left(\frac{\Delta P_{ohl} \cdot \left((P_i(t) + P_{CRi})^2 + Q_i^2 \right)}{m \cdot S_{rat}^2} + \right.$$

$$\left. \left. + m \cdot \Delta P_{cl} \cdot t_i \right)_j \right) + T \cdot \sum_{i=1}^{N} (k_i P_{CRi} t_i) \rightarrow \min \qquad (2)$$

under the constraints given in the form of inequality and equation

$$\begin{cases} P_{CRi} \leq (m \cdot S_{ratTS} - \sqrt{P_i(t)^2 + Q_i(t)^2}) \cdot cos\varphi \\ \sum_{i=1}^{N} P_{CRi} \cdot t_i = W_{CR} \end{cases} \qquad (3)$$

and boundary conditions that define the range of change in the values of the variables:

$$0 \leq P_{CRi} \leq P_{ratCR}, \qquad (4)$$

where $cos\varphi$ – coefficient of phase shift;

$\sqrt{P_i(t)^2 + Q}$ – load of main consumers of transformer substation in the *i-th* period of time (determined from the probabilistic model (Fig. 1);

P – rated power of consumers-regulators;

– electricity for consumers-regulators needs.

Considering the disproportionate components of the objective function (a much smaller proportion of the cost of losses electric power compared to the cost of consumed electric power for the needs of the consumers-regulators), it is important to take into account the scientifically sound proportions between these values, which is an important factor in the effective regulation of the electrical load graph. Increasing the share of losses component allows to change the configuration of the electrical load graph most effectively.

It is possible to make a compromise between taking into account the data of the constituents of the objective function, taking into account the weight coefficients. Multicriteria optimization is carried out according to a generalized objective function, which includes the accepted criteria with their weighting factors. The generalized function is written as follows:

$$B_{gen} = \sum_{k=1}^{K} \frac{\alpha_k B_k}{B_{knorm}} \rightarrow min, \qquad (5)$$

where – k-th the target function expressing k-th criterion;

B_k – the normalized value of the k-th objective function;

– the weight factor of the k-th objective function;

k – number of criteria accepted.

Dividing the k-th objective function by its normalized value brings all the objective functions to one dimension (relative units).

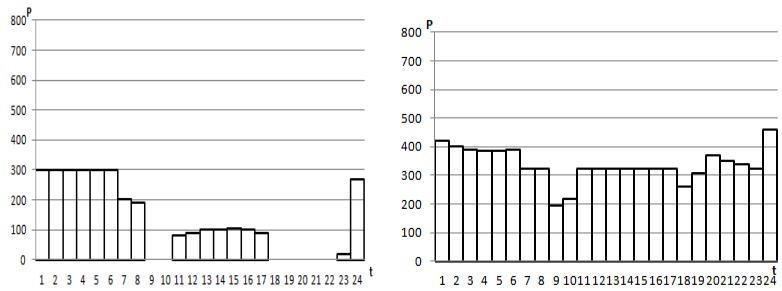
Consider several variants of the coefficients obtained by the method of expert estimates. From the values of the weighting coefficients $\alpha_1 =$,, $\alpha_2 =$, the optimization function becomes sensitive to the technical component - the level of loss of electrical energy. From the values of the weighting coefficients $\alpha_1 =$, $\alpha_2 =$, the optimization function begins to gradually decrease the sensitivity to the increased tariff coefficients of the objective function. Therefore, according to the method of expert estimations, the values of the weighting coefficients are given $\alpha_1 =$, $\alpha_2 =$, as those for which the optimization function is the most sensitive to the two components.

Methods for solving optimization problems refer to operations research methods or mathematical programming methods [113, 114], which allow to determine the extreme value of the objective function (110) under the established constraints (111) in the range of variables determined by the boundary conditions (112).

Given that the optimization problem, that is, the problem of choosing the optimal consumers-regulators power at the *i* time interval, is set as a nonlinear optimization problem, then a method of nonlinear programming can be applied to obtain its solution.

To determine the extremum of a nonlinear function, we use gradient methods, namely, we apply the Newton method. The solution of the optimization problem is implemented in the MS Excel package.

According to the optimization model (2-4), the value of the power of the consumers-regulators was determined and the general electrical load graph of transformer substation 10/0,4 kV after the connection of the consumers-regulators was constructed (Fig. 34).



a) b)

Fig. 34. Electric load graph: a) consumers-regulators;
b) transformer substation 10/0,4 kV after connection of consumer regulators

Comparison of changes of electric load graphs before and after connection of consumers-regulators is made. Thus, the coefficient of non-uniformity before the connection consumers-regulators $k_{n1} =$, and after connection of consumers-regulators $k_{n2} =$; form factor $k_{f1} = 1$, $k_{f2} = 1$; maximum coefficient $k_{m1} =$, $k_{m2} =$; demand factor $k_{d1} =$, $k_{d2} =$; coefficient of fulfillment factor $k_{ff1} =$, $k_{ff2} =$ and load factor of the transformer substation $k_{l1} =$, $k_{l2} =$, which indicates the alignment of the transformer substation 10/0.4 kV electrical load graph after connection and control of the consumers-regulators load. By improving the electrical load graph configuration and increasing the efficiency taking into consideration the uniform and optimal load throughout the day, a reduction in power losses of 9.5% per unit of transmitted power has been achieved.

Conclusions. The method of alignment of the graph of electric load of transformer substation 10/0,4 kV by optimal control of the power of consumers-regulators is developed. The mathematical model has been created that meets the objectives of optimizing consumers-regulators power management based on the selection and acceptance of the cost criterion. The technical criterion is taken into account as the cost of covering electricity losses in the network caused by the non-uniformity of the electrical load graph, and the economic criterion as the cost of

consumed electricity for the needs of consumers-regulators, a system of constraints caused by the load capacity of transformers and the required amount of electricity to perform the technological process, figured out the capacity of the consumers-regulators. The trade-offs between the constituents of the objective function are taken into account by the weighting coefficients of the peer review method.

4.2 Development and experimental research of transverse magnetic flux machine with a disk rotor

Як відомо, електричні машини з постійними магнітами (ПМ) демонструють вищу ефективність, більшу надійність ніж машини з електромагнітним збудженням. Серед електричних машин з ПМ окремим класом відокремлюються електричні машини з поперечним магнітним потоком (ЕМПП) завдяки конструктивним особливостям магнітної системи тастворенню кращих показників питомого обертального моменту, ніж машини інших типів. За останні 50 років в цьому класі електричних машин було представлено велику кількість конструкційта модифікацій, що впливають на обертальний момент та енергетичні показникиелектричної машини. Модифікації ЕМПП включають зміну формимагнітної системи статора, застосування магнітних шунтів, розташування статора відносно вісі обертання та ін. Під час вдосконалення конструкції велику увагу приділяють спрощенню виробничого процесу та розробці технологічної конструкції ЕМПП.

В останній час виникла тенденція до зменшення об’єму електричних машин та збільшення їх питомого обертального моменту. Також з розвитком робототехніки та індивідуальних засобів руху (гіроборд, моноколесо та ін.), де ці параметри особливо важливі, проектування високомоментних низькообертових електричних машин набуває затребуваності (рис.35).

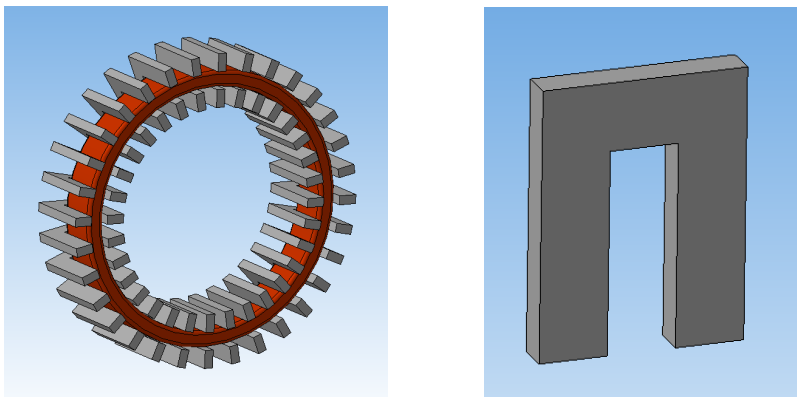
ЕМПП можуть бути виконані як із зовнішнім, так і з внутрішнім ротором в формі диска або циліндра. Також застосовуються машини, що орієнтовані на лінійне переміщення.

абв г

Рисунок 35. Приклади застосування високомоментних низькообертовихелектричних машин:
а – електросамокатRazor E300; *б* – моноколесоNineBotOne *A*1;
в–робот-маніпулятор FANUC, Японія; *г*–робот-маніпуляторGenesys

В роботах [115] та [116] представлені ЕМПП з дисковим та циліндричним ротором відповідно. Незалежно від знаходження та форми ротора, автори приходять до висновку, що кількість осердь статора знаходиться в межах від 28 до 34 штук на фазу при умові, що створюється максимальний обертальний момент. При цьому геометричні розміри приблизно однакові і зовнішній діаметр машини не перевищує 200 мм. Тому в якості прототипу обрана машина з поперечним магнітним полем з внутрішнім розташуванням ротора у формі диску та кількістю осердь статора на фазу 32 штук. Її конструкцію та принцип дії розглянуто далі.

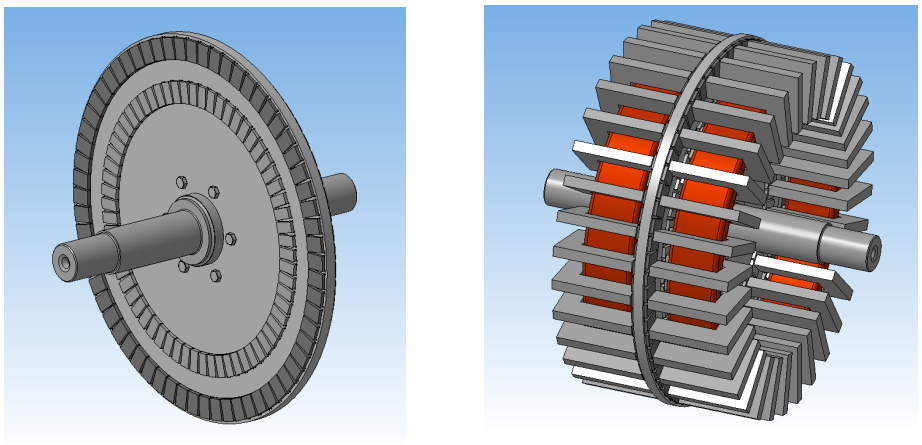
Статор машини складається з двох половин (фаз), кожна з яких виконана з кільцевої обмотки, на якій рівномірно розташовані П-подібні осердя, що виконують роль магнітопроводів (рис. 36,*а*). Кожен такий магнітопровід складається з двох зубців, які з'єднані ярмом (рис. 36,*б*). На торцевій поверхні ротора розташовано постійні магніти,кількість яких перевищує кількість П-подібних осердь у два рази, що пов'язано із зміною напряму руху магнітного потоку при синусоїдальному живленні. На рис. 3 показана загальна конструкція дискового ротора ЕМПП.



а *б*

Рисунок 36.Конструкція 1 фази статораЕМПП

а – одна фаза статора; *б* – полюс статора.



а *б*

Рисунок 37. Конструкція ЕМПП з дисковим ротором

а – дисковий ротор; *б* – ЕМПП з дисковим ротором без корпусу.

За своїм принципом дії ця електрична машина подібна до синхронної машини з постійними магнітами, тому при підключенні до мережі з синусоїдальною напругою живлення в обмотці статора буде протікати струм та створюватись магнітне поле статора, яке буде пульсуючим, а не обертальним на відміну від синхронної машини класичної конструкції. Створене магнітне поле статора почне взаємодіяти з магнітним полем ПМ ротора та приводити їх в рух та переміщувати в положення з найменшим магнітним опором, тобто постійні магніти ротора розташуються навпроти зубців магнітопроводів статора. Такий

процес призведе до виникнення обертального моменту, який поступово буде зростати до максимального, а потім буде зменшуватись із зменшенням амплітуди напруги живлення та потраплянням ПМ ротора до позиції із найменшим магнітним опором.

Для створення подальшого обертання необхідна друга фаза статора. При цьому осердя статора другої фази розміщено навпроти осердь статора першої фази, а магніти фаз ротора зміщено на деякий кут, або навпаки(рис.38). Тобто частина полюсів статора завжди знаходяться між різнополярними магнітами ротора. Таким чином, при наявності струмів (зсунутих на 90 градусів по фазі) в обмотках статора, на ротор буде постійно діяти тангенціальна складова сили тяжіння, створюючи обертальний момент ротора. Такий принцип побудови магнітної системи відноситься і до трифазних та багатофазних ЕМПП. Залежність обертальногомоменту від струму і кута положення ротора є нелінійної функцією і характеризується значними пульсаціями (до 20% від номінального значення).

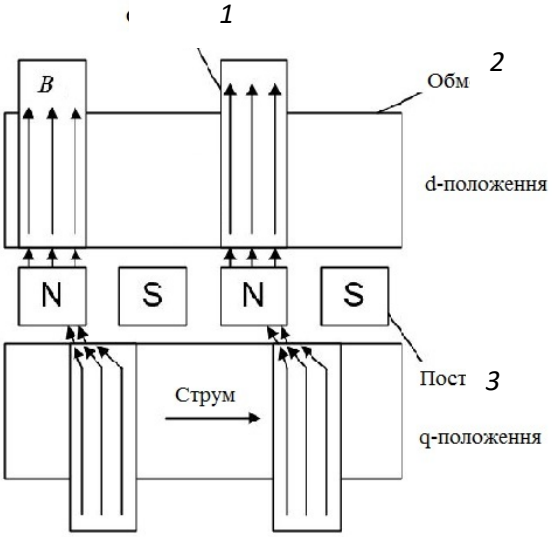


Рисунок38. Принципова будова двофазної ЕМПП

1 – осердя статора; *2* – обмотка статора; *3* – постійні магніти.

В останні десятиліття активно ведеться робота по збільшенню питомого обертального моменту ЕМПП і, як результат, створено значну кількість різних конструктивних виконань цих машин. Високий питомий обертальний момент в ЕМПП досягається завдяки двом основним властивостям: по-перше, на відміну

від класичних електричних машин з повздовжнім поширенням магнітного потоку, в ЕМПП шлях замикання магнітного потоку в магнітопроводі і струм в обмотці умовно не залежать одне від одного і можуть бути оптимізовані окремо; по-друге, обмотка статора не має лобових частин і тому її маса, зовнішні габарити та магнітний потік розсіювання на 25–30% менше, ніж у класичних електричних машин. [117].

Кожна електрична машина, що випускається серійно має свою методику розрахунку експлуатаційних характеристик та геометричних розмірів, що базується на великій кількості експериментальних досліджень, емпіричних коефіцієнтах та спрощеннях. Розрахунок ЕМПП використовує існуючі методи для аналізу магнітного поля:чисельно-польовий, закон повного струму, схеми заміщення. Останні два методи мають декілька спрощень щодо розподілу магнітного поля та насичення магнітної системи, але дають уявлення про габаритні розміри ЕМПП, які уточнюються при використанні чисельно-польового методу. Цей метод розрахунку магнітного кола реалізовано у таких програмах як FEMM, ANSYSMaxwell, Comsol та інші.

Ці програми дозволяють за короткий час визначити оптимальну магніторушійну силу (МРС), а критерієм оптимальності є насичення магнітної системи осердь статора та ротора, а також зробити параметризацію та оптимізацію постійних магнітів при заданому критерії. Це суттєво спрощує процес проектування ЕМПП.В першу чергу створюється магнітна система ЕМПП у тривимірній постановці за допомогою програм тривимірного моделювання(наприклад КОМПАС-3D, SolidWorks і т.д.) та імпортується в середовище ANSYSMaxwell. Далі задаються основні властивості магнітопровідникових матеріалів, а саме:крива намагнічування матеріалів осердь статора та ротора, напрям шихтовки полюсів статора, обмоткові дані, напрям намагнічування магнітів, їх тип та магнітні властивості, та інші нюанси моделі для максимального наближення її до експериментального зразка(рис.39).

Головні розміри дослідницької 32-полюсної конструкції ЕМПП представлені на рис.40, зовнішній діаметр магнітної системи моделі складає 180 мм, а осьова довжина – 94 мм.

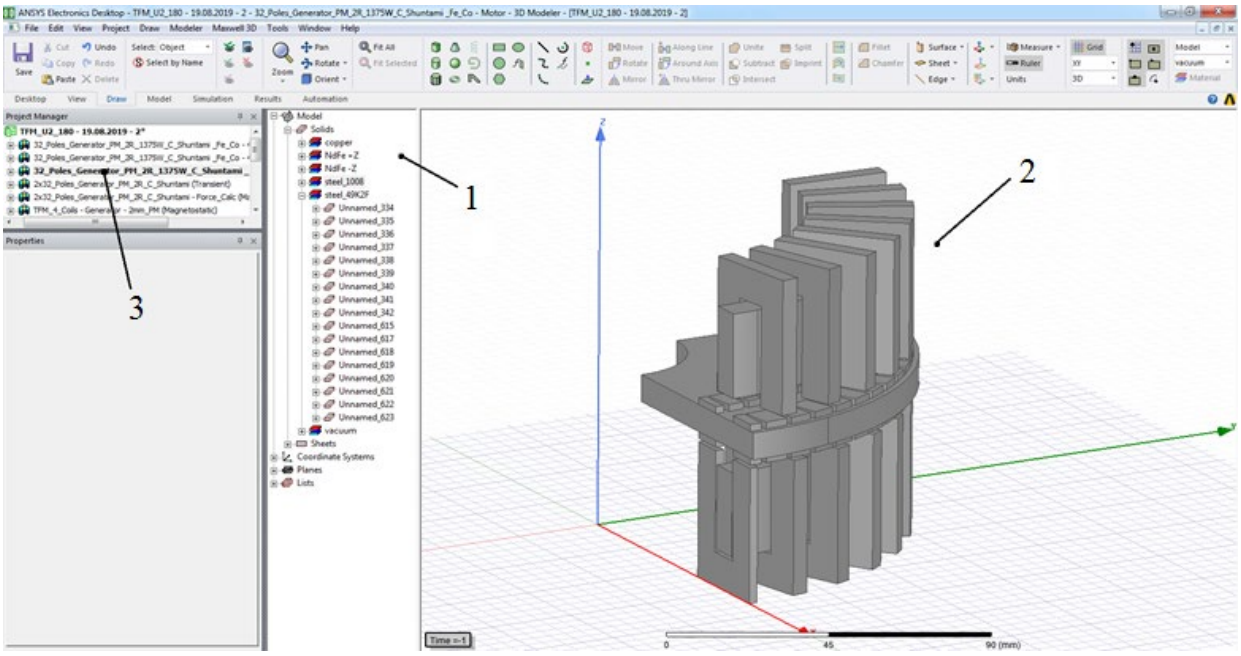
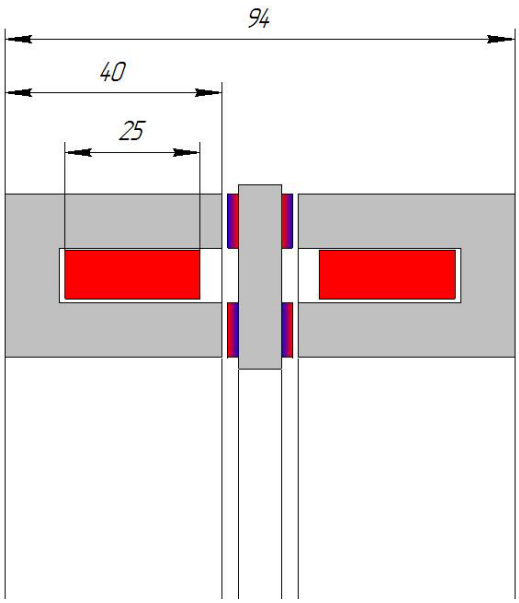
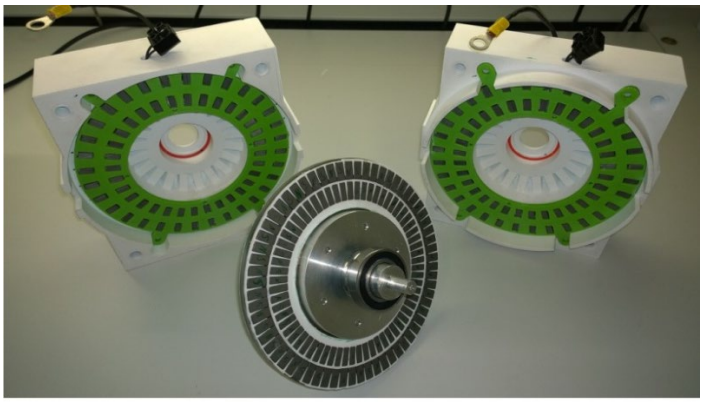


Рисунок 39. Головний екран програмного середовища ANSYS Maxwell під час підготовки моделі до розрахунку:

1 – поле для завдання властивостей матеріалів; *2* – поле для редагування власне моделі машини;*3* – поле для завдання особливостей розрахунку моделі.





а *б*

Рисунок 40. Експериментальний зразок ЕМПП, що досліджується:

а – геометричні розміри; *б* – загальний вид ЕМПП.

Розрахунок тривимірної моделі ЕМПП проведено у програмному комплексі ANSYS Maxwell [118] для двох варіантів: без магнітних шунтів та з ними (рис.41) [119, 120]. В усіх розрахунках використовувалися неодимові магніти Nd-Fe-B марки N35.

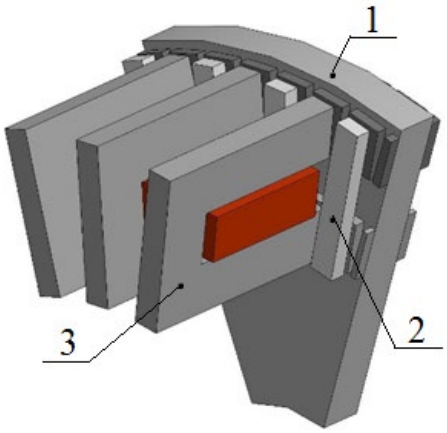


Рисунок 41. Конструкція ЕМПП із магнітними шунтами:

1 – диск ротора з ПМ; 2 – магнітні шунти; 3 – осердя статора з обмоткою.

В результаті аналізу першого варіанта, отримано графік наведеноїу котушках статора електрорушійної сили (ЕРС) у генераторному режимі, величина амплітудного значення якого складає 14 В (рис.8, крива2). Наступні розрахунки проведені при наявності магнітних шунтів, які розташовані у проміжкуміж П-подібними осердями. Їх ефективність визначена шляхом моделювання (рис.42, крива 1), тадоведена експериментально [121,122].

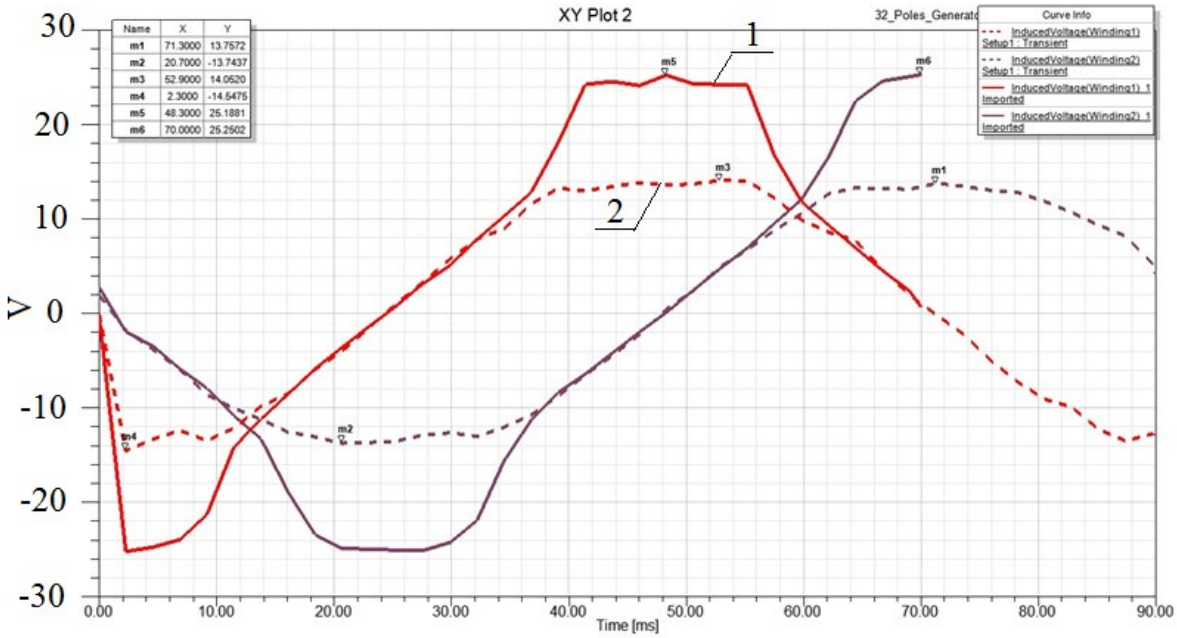


Рисунок 42.Наведена ЕРС досліджуваної ЕМПП:

1 – із магнітними шунтами;2 – без магнітних шунтів.

Як видно із графіку, наведене амплітудне значення ЕРС, у конструкції із магнітними шунтами, збільшилосьз 14 В до 24 В, що більше на 72%.

Для розрахунку моделіЕМПП в режимі двигуна необхідно задати МРС обмотки статора, яка при кожному розрахунку змінюється для досягнення необхідного насичення матеріалів магнітної системи. В результаті комплексу розрахунків можна отримати залежність обертального моменту на валу від МРС (рис.43).

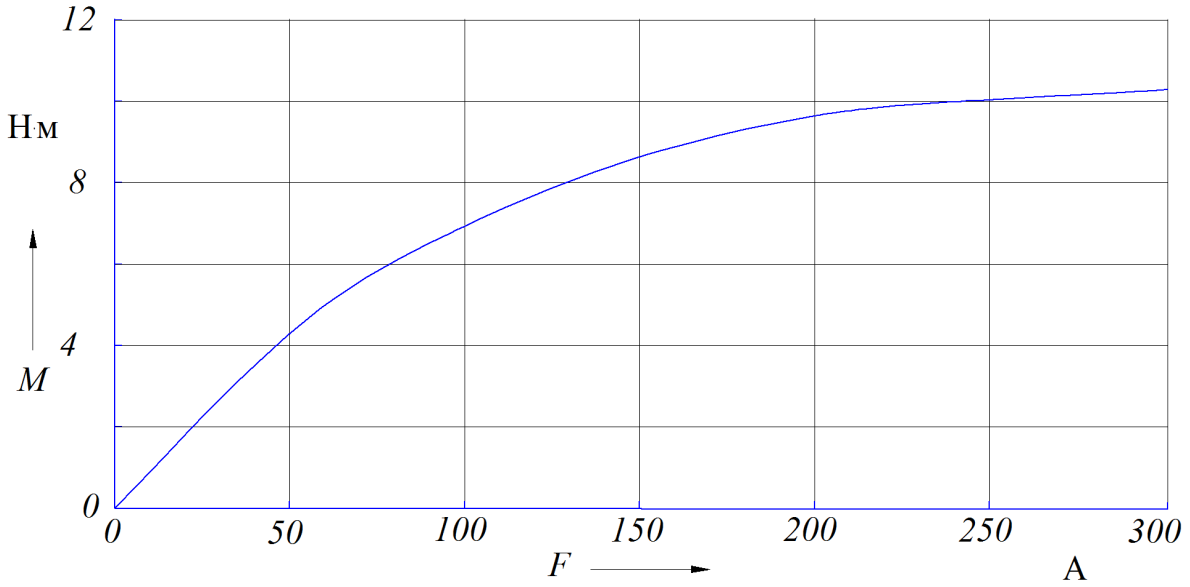


Рисунок 43. Залежність обертального моменту на валу ЕМПП від МРС

Як бачимо з рис. 43 існує певне значення МРС обмотки статора на рівні 250 А, вище якого зростання обертального моменту вже не буде істотним. Знаючи дане значення МРС,становиться можливимвизначити кількість витків та струм обмотки статора, необхідний для створення максимального обертального моменту.

Наступним етапом дослідження є проведення експериментів, які для класу електричних машин з ПМ можливо проводити, як у режимі двигуна, так і у режимі генератора. Дослідження проводились для режиму двигуна по схемі, що представлено на рис.44. Живлення ЕМПП в режимі двигуна відбувається за рахунок ввімкнення реостату за схемою потенціометра в мережу із напругою 220 В та 50 Гц, а на двигун подається вже 110 В. Для зміщення фаз струмів обмоток статора використано конденсатор С1 ємністю 13,7 мкФ.

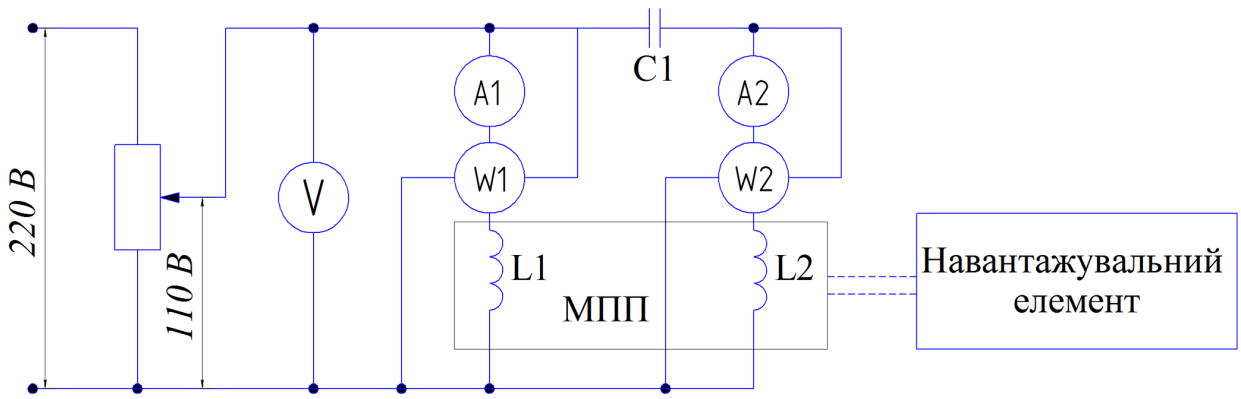


Рисунок 44. Принципова електрична схема випробувальної установки для дослідження ЕМПП з дисковим ротором

Параметри обмотки ЕМПП з дисковим ротором: активний опір 4,2 Ом; кількість витків 250; діаметр проводу без ізоляції 0,8 мм. Дослід проводився із постійною частотою обертання 95 об/хв. Результати експерименту представлено в табл.15 та побудовано робочі характеристики (рис.45).

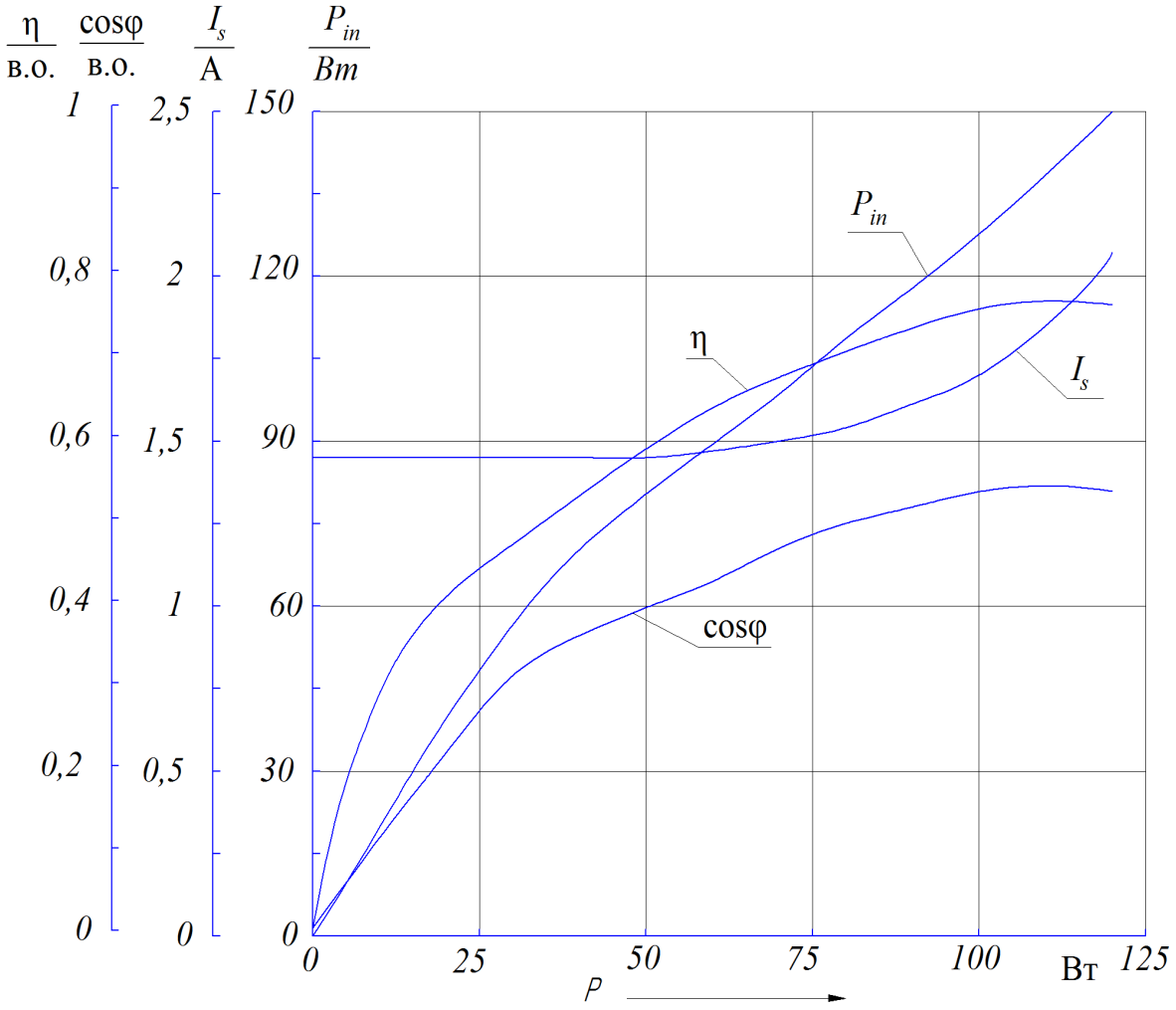


Рисунок 45.Робочі характеристики ЕМПП режимі двигуна

Таблиця 15

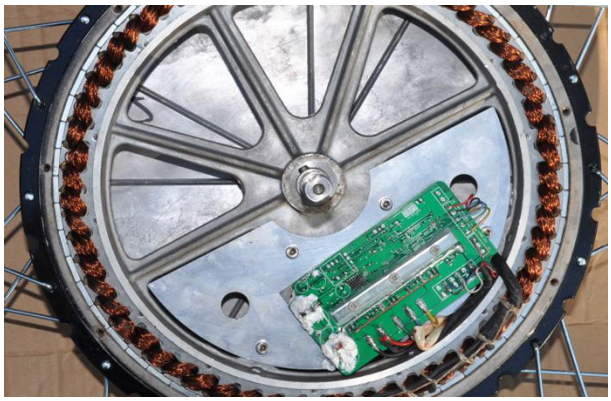
Результати дослідження ЕМПП в режимі двигуна

M, Н·м	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n, об/хв	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
$U_1=U_м$, В	109	108,4	108,1	107,6	107,2	106,9	106,3	106,0	105,6	105,0	104,4
U_2, В	109	108,4	108,1	107,6	107,2	106,9	106,3	106,0	105,6	105,0	104,4
I_1, А	0,73	0,689	0,671	0,65	0,62	0,6	0,572	0,55	0,526	0,482	0,429
I_2, А	1,28	1,28	1,29	1,3	1,33	1,38	1,47	1,53	1,62	1,79	2,03
I_s, А	1,45	1,45	1,45	1,45	1,47	1,51	1,57	1,63	1,703	1,85	2,07
P_1, Вт	35,29	35,2	34,88	34,3	33,63	32,7	31,12	29,84	28,18	24,57	18,94
P_2, Вт	11,52	35,2	43,27	51,76	62,05	72,7	86,69	95,9	105,9	123,3	142,8
P_{in}, Вт	46,82	70,4	78,16	86,14	95,69	105,4	117,8	125,74	134,07	147,9	161,8
cosφ, в.о.	0,2	0,31	0,35	0,37	0,42	0,46	0,49	0,51	0,526	0,53	0,52
η, в.о.	0,35	0,45	0,52	0,55	0,62	0,67	0,7	0,72	0,73	0,75	0,73
S_1, В·А	80,6	74,7	72,59	70,0	67,2	64,53	60,86	58,45	55,58	50,69	44,87
S_2, В·А	142,5	139,3	139,6	140,3	143,2	148,3	156,4	163,1	171,2	188,4	212,4
S, В·А	231,5	223,5	222,5	221,7	223,7	228,6	237,3	244,9	254,6	275,95	307,1
Q_1,В·Ар	72,46	65,91	63,66	61,01	58,17	55,62	52,31	50,25	47,91	44,34	40,68
Q_2,В·Ар	142	134,7	132,7	130,4	129,05	129,2	130,19	131,88	134,6	142,463	157,27
Q,В·Ар	226,7	212,2	208,3	204,5	202,2	202,9	206,05	210,23	216,48	232,96	261,01

U_1 та U_2– напруги на обмотках; I_1 та I_2 – струми в обмотках; M – обертальний момент на валу;

n – частота обертання валу; S, P_{in} та Q – повна, активна та реактивна потужності відповідно.

ЕМПП позиціонуються, як низькообертові високомоментні машини. Тому сфера використання цих машин досить широка, починаючи від прямого приводу коліс міського транспорту та інших транспортних засобів до приводу робототехніки, а також в якості тихохідних генераторів середньої та малої потужності.На даний момент серед існуючих машин та приводів з подібними параметрами можна виділити редукторні приводи на базі асинхронних або синхронних машин та мотор-колеса (рис. 46).



а

б

Рисунок 46. Приклади можливих сфер застосування:

а – мотор-колесо; *б* – редукторний привід на базі асинхронногодвигуна

Хоч і на даний момент ці приводи більш розповсюджені, але ЕМПП має низку переваг: по-перше,ЕМПП має набагато простішу конструкцію в порівнянні з редукторним приводом та мотор-колесом, по-друге, потрібен додатково редуктор, який знижує ККД усього приводу на 10-15 % та надійність системи в цілому, а також потребує додаткового догляду та обслуговування.В свою чергу, мотор-колесо має досить складну обмотку, яка вимагає великого затрати часу на її виготовлення, а також статор мотор-колеса потребує штамповки листів із складною формою паза. Якщо розглядати ЕМПП, то можна сказати, що ця машина має найпростішу обмотку в порівнянні не тільки з її аналогами, але і з усіма електричними машинами (ротор з закріпленими на ньому магнітами та статор, що складається з двох частин, які представляють собою осердя простої форми та кільцеву обмотку).

Корпус машини не є частиною магнітного ланцюга, що дозволяє виготовити його навіть на 3D принтері із немагнітного матеріалу – пластику.

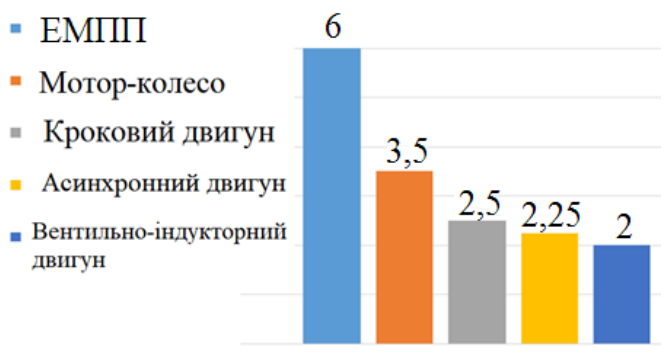


Рисунок 47. Питомі обертальні моменти електричних машин

Іншим аспектом є показники потужності машин, а саме питомий обертальний момент. На рис.47 представлена діаграма питомих моментів різних машин. Можна бачити, що ЕМПП перевищує своїх конкурентів у два-три рази. Тобто, при однакових обертальних моментах, двигуни важать більшета займають додаткове місце у механізмі, яке може бути використаноіз користю для зменшення габаритів та ваги пристрою в цілому.

В таблицю 16 зведені параметри для порівняння ЕМПП та мотор-редукторів деяких виробників[123, 124].

Таблиця 16

Порівняння параметрів ЕМПП та редукторного електроприводу

Параметри	Одиниці вимірювання	ЕМПП	ООО «СИРИУС»	«Приводные технологии»		
				HH18-100/15K-100W/1500	5GU15K	5GU12,5
Вихідна потужністьдвигуна	Вт	104	100	100	120	140
Напруга	В	110	220	220	220	220
Частота обертання валу двигуна	об/хв	95	1400	1400	1300	1300
Струм	А	1,6	0,8	0,8	0,8	1,13
Маса	кг	6	5,7	6	4,8	4,8
Частота обертання валу редуктора	об/хв	–	93	100	100	100
Обертальний момент на вихідному валу редуктора	Н·м	9	8,8	9,1	10	10,6

Продовження таблиці 16

Висота	мм	200	138	138	90	90
Ширина	мм	200	135	135	90	90
Довжина	мм	100	220	220	225	225
Корисний об`єм	$\times 10^{-3}$, м^3	2,3	4,2	4,2	1,8	1,8

В таблиці 16 можна побачити, що ЕМПП має більший діаметр ніж у сучасних мотор-редукторів, але меншу довжину. А в усіх інших параметрах ЕМПП схожий на аналоги та не має суттєвих недоліків. Але для ЕМПП не потрібен редуктор, що несумнівно є перевагою.

Також зауважимо, що досліджена машина має повітряний проміжок 1 мм, який може бути зменшений до 0,5 мм, що тим самим призведе до покращення ряду показників, зокрема, обертальний момент підвищиться на 35% та буде становити 12,2 Н·м (рис.48), що є максимальним показником серед даних у таблиці 16.

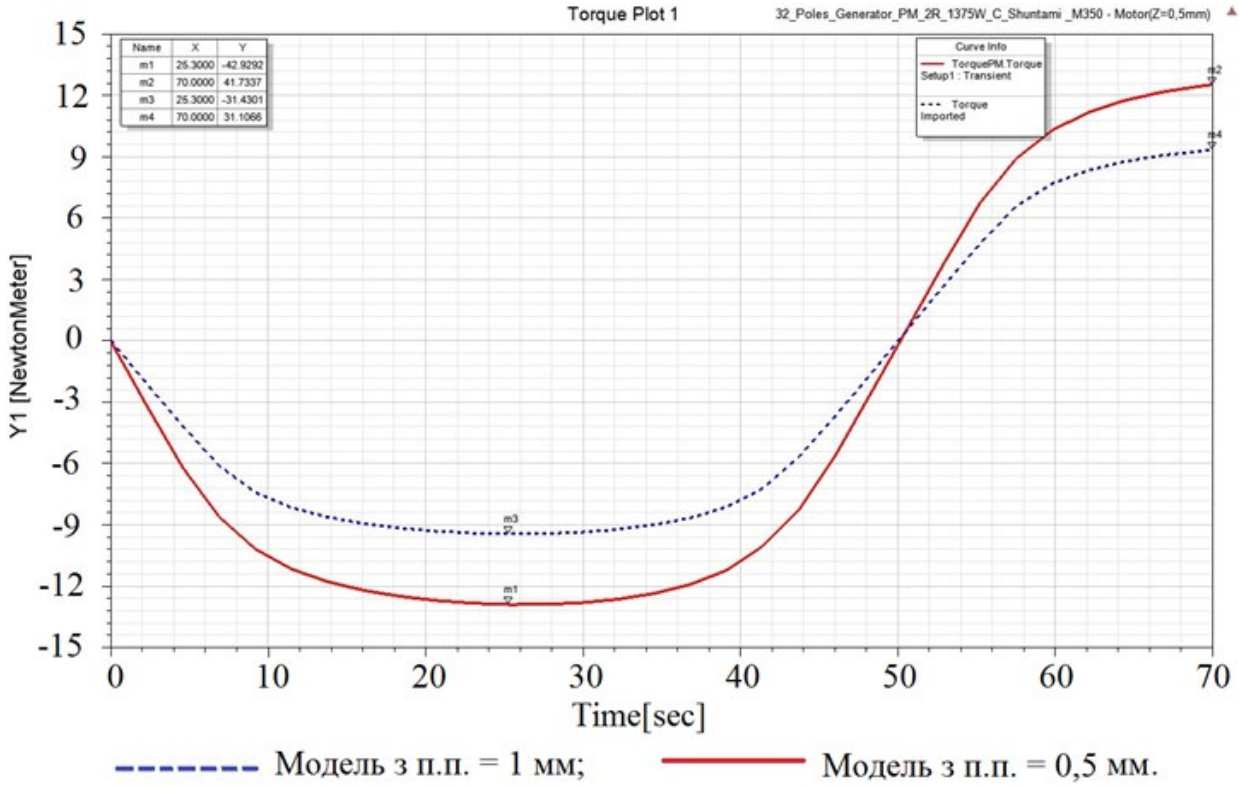


Рисунок 48. Графік моменту ЕМПП з різними повітряними проміжками

В цілому, ЕМППце відносно молода електрична машина, що зарекомендувала себе як майбутній конкурент мотор-редукторамта машинам класичної конструкції, проте «класика» вже певною міра досліджена, а ЕМПП ще є куди розвиватися.

4.3 Оцінка енергоємності системи електрообладнання потокових ліній очищення зерна

Для оцінки можливостей енергозбереження на зернопунктах необхідно розробити найбільш об'єктивний спосіб оцінки ефективності технологій і технічних засобів. Техніко-економічне обґрунтування слід доповнити енергетичним аналізом технологій післязбиральної обробки зерна, машин і устаткування, який полягає у визначенні витрат різних видів енергії, а також сировини, матеріалів і живої праці при виробництві продуктів харчування [125]. Важливим показником процесу післязбиральної обробки зерна є її енергоємність, яка призначена для планування потреб галузі в паливно-енергетичних ресурсах. Енергоємність, яка включена в загальну систему показників післязбиральної обробки зерна, дозволить здійснити оцінку та вибір енергозберігаючих технологій, а також уточнити вимоги до енергетичного та технологічного обладнання післязбиральної обробки зерна [126].

Виробництво практично всіх видів сільськогосподарської продукції в нашій країні носить енергозатратний характер. В порівнянні з розвинутими закордонними країнами енергоємність виробництва сільськогосподарської продукції в Україні в 2…4 рази вища. Частка енергозатрат в собівартості продукції зростає. Тому необхідне вживання невідкладних заходів по зниженню енергоємності сільськогосподарської продукції за рахунок енергозберігаючих технологій і економії паливно-енергетичних ресурсів.

Визначення повної енергоємності сільськогосподарської продукції є першим кроком на шляху до енергетичного менеджменту і енергозбереження в АПК.

Енергоємність виробництва продукції в галузях сільського господарства вперше почали визначати в 70-х роках в розвинутих країнах світу під час енергетичної кризи. Вітчизняними вченими (В.М. Рабштина, Ю.Ф. Новиковим, В.І. Сотніковим та ін.) запропоновано враховувати сукупні енерговитрати на виробництво продукції і порівнювати їх з енергією, яка міститься в цій продукції.

Останнім часом прийнято ряд урядових постанов про економію паливно-енергетичних ресурсів та розвиток нетрадиційних джерел енергії. Однак, через їхню недостатню економічну обґрунтованість і недосконалу політику цін бажаних результатів не досягнуто. Між тим, питання енергозбереження – один з вирішальних чинників енергетичної безпеки України, а також пріоритетний напрямок державної політики в галузі паливно-енергетичних ресурсів [127].

Для об’єктивної оцінки можливостей енергозбереження на зернопунктах, розглянемо повну енергоємність процесу очищення зерна.

Енергоємність продукції визначається на основі розрахункового, експериментального і статистичного методів оцінки необхідних показників виробництва.

Розрахунковий метод базується на використанні матеріалів технологічних карт, робочих і типових проектів. При використанні цього методу будується модель виробництва, складається перелік енергоспоживаючих процесів, що використовують матеріали, обладнання, трудові ресурси.

Експериментальний метод дає найбільш об’єктивну оцінку енергозатрат по конкретному об’єкту виробництва, але дуже трудомісткий.

Статистичний метод заснований на використанні даних статистичної звітності сільськогосподарських підприємств. Він застосовується для розрахунку енергоємності конкретного об’єкта, групи об’єктів і всієї галузі в сільськогосподарському виробництві при наявності відповідних статистичних даних щодо витрати енергії.

При визначенні повної енергоємності виробництва сільськогосподарської продукції використовують різні методи і, як правило, спільно їх застосовують [127].

Повна енергоємність даного виду сільськогосподарської продукції (її енергетичний еквівалент) – це відношення повних енергозатрат на виробництво даної продукції до обсягу її виробництва.

Повні енергозатрати – енергозатрати, враховані на всіх етапах виробництва. Повні затрати енергії складаються з двох частин: експлуатаційних, які в свою чергу поділяються на прямі і непрямі, і інвестиційних.

Прямі затрати енергії включають в себе споживання енергоносіїв технологічним обладнанням в межах інфраструктури сільськогосподарського виробництва, що розглядається.

Непрямі затрати енергії – це затрати на виготовлення сировини, що повністю витрачається в процесі одного циклу виробництва.

Інвестиційні затрати включають затрати енергії на будівництво будівель і споруд, виробництво машин і обладнання.

Проведемо розрахунок повної енергоємності очищення зерна на потокових лініях зерноочисних агрегатів.

Визначаємо питому витрату електроенергії за наближеною формулою [128, 129]

$$E_{\text{пит}} = \frac{P_{\text{вст.}}}{Q}, \tag{1}$$

де $P_{\text{вст.}}$ – встановлена потужність електрообладнання, кВт;

Q – продуктивність агрегату, т/год.

Прямі енергозатрати (затрати енергоносіїв) визначаються за формулою

$$E_{\text{пр}} = q_{\text{e1}} \cdot E_1, \tag{2}$$

де q_{e1} – енергетичний еквівалент електроенергії, МДж/(кВт·год.). Приймаємо $q_{e1} = 12$ МДж/(кВт·год.) [128, 129];

E_1 – витрата електроенергії за рік, кВт·год.

Витрата електроенергії визначається за виразом

$$E_1 = P_{\text{вст.}} \cdot t_{\text{зм}} \cdot n_{\text{р}}, \tag{3}$$

де $t_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год.;

$n_{\text{р}}$ – кількість днів роботи за рік, днів.

Непрямі енергозатрати визначаються за формулою

$$E_{\text{н}} = q_{\text{н1}} \cdot K_1, \tag{4}$$

де $q_{\text{н1}}$ – енергетичний еквівалент вихідної сировини – неочищеного зерна. Приймається $q_{\text{н1}} = 12$ МДж/кг [128, 129];

K_1 – витрата вихідної сировини, кг.

З урахуванням частки сухої речовини в натуральному продукті формула (4) прийме вигляд

$$E_{\text{н}} = q_{\text{н1}} \cdot K_1 \cdot K_{\text{с.р.}}, \tag{5}$$

де $K_{\text{с.р.}}$ – частка сухої речовини, для зерна $K_{\text{с.р.}} = 0{,}86$ [128, 129];

Кількість зерна, що очищується за рік

$$K_{\text{рік}} = Q \cdot t_{\text{зм}} \cdot n_{\text{р}}, \tag{6}$$

де Q - продуктивність зерноочисного агрегату, т/год.

Вихід чистого зерна становить 87 %. Тоді це складе

$$K_{\text{ч.з.рік}} = 0{,}87 \cdot K_{\text{рік}}. \tag{7}$$

Інвестиційні енергозатрати (затрати на амортизацію обладнання та виробничих будівель) визначаються за формулою

$$E_i = q_{\text{з}}^{\text{а}} \cdot U_{\text{з}}, \tag{8}$$

де $q_з^а$ – енергетичний еквівалент амортизації основних засобів, МДж/кг. Приймається $q_з^а = 47{,}1$ МДж/кг [128, 129];

$U_з$ – кількісна характеристика амортизації основних засобів виробництва, кг.

Трудові енергозатрати визначаємо за формулою

$$E_{тр} = q_{тр} \cdot T, \tag{9}$$

де $q_{тр}$ – енергетичний еквівалент трудозатрат, МДж/(люд.·год.). Приймається $q_{тр} = 35{,}2$ МДж/(люд.·год.) [128, 129];

T – величина трудозатрат, люд·год.

$$T = n_п \cdot t_{зм} \cdot n_р. \tag{10}$$

де $n_п$ – кількість обслуговуючого персоналу, люд.

Повні енергозатрати на очищення зерна визначаємо за виразом

$$E = E_{пр} + E_н + E_i + E_{тр}. \tag{11}$$

де $E_{пр} + E_н + E_i + E_{тр}$ – відповідно пряма, непряма, інвестиційна складові повних затрат енергії та енергетична оцінка затрат труда, МДж.

Розрахунковий енергетичний еквівалент очищення зерна (повна енергоємність) визначається за формулою [128, 129]

$$q_з = \frac{E}{K_{с.р.} \cdot K_{ч.з.рік}}. \tag{12}$$

Дані розрахунків повної енергоємності очищення зерна на потокових лініях зерноочисних агрегатів ЗАВ приведені в таблиці 1.

З таблиці 17 видно, що трудові енергозатрати складають менше 1 % від повних затрат. Невелику частку займають пряма та інвестиційна складові. Більш 90 % затрат – це непрямі затрати (на виробництво, тобто вирощування зерна), але з енергетичної сторони неможливо вплинути на зниження цих

затрат, це задача тих структур, які безпосередньо займаються вирощуванням сільськогосподарських культур та підвищенням врожайності. Тому головну увагу необхідно приділяти аналізу прямих енергозатрат.

При виборі способів енергозбереження необхідно розрізняти три складові витрат енергії: на виконання корисної роботи, на технічно неминучі витрати при передачах та невиробничі витрати.

Таблиця 17

Результати розрахунку повної енергоємності

Агрегат	Енергозатрати					Повна енергоємність, МДж/кг
	прямі (електроенергія, паливо), МДж·10^6	непрямі (виробництво зерна), МДж·10^6	інвестиційні (амортизація обладнання), МДж·10^6	трудові, МДж·10^5	повні, МДж·10^6	
ЗАВ-10	0,216	103,2	0,537	0,704	104,023	13,903
ЗАВ-20	0,199		0,782	0,352	104,216	13,929
ЗАР-5	0,188		0,947	0,352	104,370	13,950
ЗАВ-25	0,377		1,931	0,282	105,536	14,105
ЗАВ-40	0,160		1,050	0,088	104,419	13,956
АЗС-30	0,135		1,178	0,088	104,521	13,970
ЗАВ-50	0,368		3,344	0,070	106,919	14,290
ЗАВ-10А	0,138	101,1	0,562	0,0383	101,793	13,894
ЗАВ-20У	0,184	102,2	1,152	0,0116	103,515	13,975
ЗАВ-40У	0,123	104,0	1,319	0,0059	105,474	13,985
ЗАВ-100А	0,096	103,2	1,649	0,0035	104,948	14,027

Скорочення витрат корисної енергії можливо тільки за рахунок зменшення обсягу робіт післязбиральної обробки зерна, що неможливо, так як призводить до зниження якості зерна та його втрат.

Зниження технічно неминучих витрат пов’язане з ККД технічних засобів. Енергозбереження, пов’язане з підвищенням ККД, дає невеликі результати і для тих зернопунктів, які тільки проектуються і будуються. Невиробничі витрати на зернопунктах виникають за різних причин: коли більшу частину він працює недовантаженим, невірно вибрані параметри енергетичного обладнання, невідповідність за продуктивністю послідовно встановлених робочих машин, якщо не дотримуються режими роботи обладнання агрегату. Економія енергії завдяки зниженню невиробничих витрат завжди виправдана [130].

Аналізуючи отримані результати розрахунків повної енергоємності очищення зерна на зернопунктах з існуючим обладнанням, до заходів щодо економії енергії на зернопунктах можна віднести:

– в першу чергу, значну увагу треба приділити підвищенню врожайності зернових та скорочення енергозатрат на вирощування сільськогосподарських культур;

– усунення невиробничих витрат енергії;

– освоєння енергоекономних технологій виробництва та обробки зерна, включаючи нові електротехнології, засновані на використанні електрофізичних методів впливу на біооб’єкти, продукти переробки;

– введення обліку витрат енергоносіїв з оснащенням приладами контролю і регулювання витрат енергії, реалізація багатотарифної системи розрахунку за електроенергію [131].

SECTION 5.
ELECTRONICS

5.1 Regularities of interphase interaction and mechanical stresses in subsurface layers of solid-state structures of micro-and nanoelectronics

Modern materials of electronics are typically multiphase systems formed mainly under nonequilibrium conditions. They feature with presence of heterogeneous interphase boundaries which are basically macro-structure defects with localized mechanical stresses having considerable impact on the mechanisms of charge transfer. These imperfections affect operational properties of electronic devices and stability of their parameters. Note that nature of the interphase boundaries is so far studied sufficiently enough only for the "liquid (melt) – solid state" systems. At the same time, for the "solid state (1) – solid state (2)" systems, the theoretical approach exists only from a standpoint of equilibrium thermodynamics of electron-hole processes not allowing to have a reliable picture of the interphase boundary properties. During complex analysis of the problem, one need to account for that distinction of physical, chemical, and thermodynamic parameters and also the level of mechanical incompatibility (e.g. by Young modulus) between two contacting solid phases determines the interphase interaction between them which quantitively is characterized by energy parameters. Note that these are parameters that determine the level of mechanical stresses at the boundary of two phases and the value of the electric charge localized in them.

For typical structures of modern solid-state electronics, in particular on the base of semiconductors, the information in this aspect as of today is absent. Therefore, quantitative information on surface properties of semiconductors at different interphase boundaries is important for development of modern nanocomposite materials able to operate under extreme conditions, and creation of advanced structures of micro- and nanoelectronics with unique and predictable properties.

Thus, the problem described requires a complex approach in studying the interaction of two phases on the base of nonequilibrium thermodynamics using elements of surface physics, solid state mechanics, and analysis of physical and chemical, thermodynamic, and mechanical compatibility of interacting phases.

Physical-mathematical model for the calculation of interfacial parameters is based on the approach [132,133], the relations of non-equilibrium thermodynamics and physics of the surface phenomena, in particular to calculate the energy parameters – $\gamma_{m,}$- interaction energy σ_m - interfacial tension, A_{ad} – work of adhesion and γ_{ad} – energy of adhesive bonds of the interfacial layers for systems: graphene–(Si, Cu, Fe, Co, Au, Ag, Al, Ru, Hf, Pb) and semiconductor (silicon, germanium) – (Fe, Co, Cu, Al, Au, Cr, W, Pb).

For the system "metal - semiconductor" we use a macroscopic approach, which corresponds to the ratio of non-equilibrium thermodynamics and physics of solid surfaces. Let's consider the system of equations and boundary conditions for describing the change of energy parameters (σ_h, γ), which characterize the thermodynamic state of the system of contacting bodies [133, 134].

Relations for the thermodynamic model of the surface layer of metal ($x > 0$) (quasistatic situation) can be represented in Cartesian coordinates x, y, z (where x is perpendicular to the interface) in the form:

$$Div\,\hat{\sigma} + \rho \cdot \omega \cdot \vec{E} = 0,\ \Delta\varphi = \rho \cdot C_{\phi} \cdot \varphi / \varepsilon_0 \tag{1}$$

$$\varphi = -\Phi_0;\quad \varphi + \psi = const;\qquad \sigma_x = -\frac{\varepsilon_0}{2} \cdot \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x}\right)^2,\ \text{if}\ \ x = 0, \tag{2}$$

$$\sigma_{ij} = \left(\left(K - \frac{2}{3}G\right)e - \alpha_t K \cdot \Delta T - K(\beta\varphi + \beta_c c)\right)\delta_{ij} + 2Ge_{ij} \tag{3}$$

$$\omega_V = \rho\omega = \rho C_{\varphi}(\varphi - \gamma_t \cdot \Delta T) + \beta K e - \rho\eta_C c \tag{4}$$

$$\mu_C = d_C c + d_t \cdot \Delta T + \beta_C K \frac{e}{\rho} - \eta_C \varphi,\quad \Delta T = T - T_0, \tag{5}$$

$$\sigma_h = \int_0^h \sigma_y dx,\quad \sigma_y = \sigma_z, \gamma = \gamma_e + \xi\gamma_d, \tag{6}$$

$$\frac{\partial\gamma}{\partial k}=\frac{\partial(\gamma_e+\xi\gamma_d)}{\partial k}=0,\quad k=\sqrt{\frac{\rho\cdot C_\varphi}{\varepsilon_0}}, \tag{7}$$

$$\sigma_y+p=0 \text{ (for } x=h), \tag{8}$$

Here γ, σ_h - surface energy (SE) and the surface tension in the case of contact of the metal with inert gas atmosphere (air) with the pressure $p = 100$ kPa; $\gamma_e=\int_0^h w_e dx$ – electric component of γ; $w_e=\frac{\varepsilon_0}{2}\left(\frac{\partial\Psi}{\partial x}\right)^2$ and $w_d=\frac{\sigma_x\left(\sigma_x-4\nu\sigma_y\right)}{2E}+\frac{(1-\nu)\sigma_y^2}{E}$ – densities of the electrical and mechanical components of the SE; $\gamma_d=\int_0^h w_d dx$ – mechanical component of SE; h – effective thickness of the surface layer; σ_{ij}, e_{ij} – tensors of mechanical stress and strain (i, j = 1,2,3); $\sigma_{11} = \sigma_{xx} \equiv \sigma_x$; $\sigma_{22} = \sigma_{yy} \equiv \sigma_y$; μ_c, c – chemical potential and the concentration of impurities; δ_{ij} – Kronecker symbols; e – the first invariant of the strain tensor; ρ – density of the material; ω_v, ω – volumetric and mass charge density, respectively; $\varphi = \Phi - \Phi_0$ – deviation of the modified chemical potential Φ of the electrical charges from its equilibrium value Φ_0 in the volume of the body at a distance $x > 30$ nm from the surface ($\Phi = M_e/z_e$, M_e – chemical potential of the conduction electron of the metal; z_e – electric charge per unit mass of the conduction electrons ($[M_e] = J$ / kg, $[z_e] = C$ / kg, $[\Phi] = C$)); Ψ – the potential of the electric field ($[\Psi] = V$); $\psi = \Psi - \Psi_0$ – deviation of the potential Ψ from its equilibrium value Ψ_0; $\vec{E}=\nabla\Psi=grad\Psi$ – the amplitude of the electrical field; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ F / m - electric constant; $\Lambda T=T-T_0$ – temperature change; K, G – the bulk modulus and shear modulus; E, ν – Young's modulus and Poisson's ratio; C_φ – capacitance; k – the inverse value of the distance, at which the volume charge in the surface layer varies by a factor e; β - electrostrictive coefficient of thermal expansion; ξ - coefficient (dimensionless) that characterizes the change in γ when changing the mechanical component γ_d, for condition when the electric

component γ_e remains unchanged $\left(\left.\frac{\partial\gamma}{\partial\gamma_d}\right|_{\gamma_e=const}=\xi\right)$; α_t, β_c, γ_t, η_c, d_c, d_t - physical characteristics of the material (metal) which are included in the equation of state (4), (5) and (6) [134].

For more adequate fit of the model given by eq. (1) - (8) to the modern physical notions, it is necessary to take into account the offset Z_b of the electron double layer with respect to the boundary of the solid (metal). For this purpose we use a well-known formula [135]:

$$Z_b=\frac{3}{4k_F}\left(\frac{\pi}{2}+\left(\frac{5E_V}{3E_F}-1\right)\arcsin\sqrt{\frac{3E_F}{3E_F+5E_V}-\sqrt{\frac{5E_V}{3E_F}}}\right), \tag{9}$$

where E_F – Fermi energy, E_V – the work function of the conduction electron and k_F – Fermi wave vector.

By setting the values of γ and σ_h (SE and tension) in eq. (6) - (8) (taking into account eq. (1) - (5), (9)), we obtain a system of 4 equations. In this case we can determine the values of ξ, k, β and geometrical characteristics h of the surface layer for the metal, which is in contact with an inert gas atmosphere (air) at a pressure p = 100 kPa. Using the value of k, we can find C_φ and Φ_0 with the help of the eq. (7) and (9), [135]:

$$C_\varphi=\frac{\varepsilon_0\cdot k^2}{\rho},$$

$$\Phi_0=\frac{q_0W_e}{2\varepsilon_0k^2}\cdot\left(2-\exp\left(-kZ_b\right)\right), \tag{10}$$

where W_e - the bulk density of the conduction electrons of the metal away from the surface (at a distance of more than 30 nm, $[W_e] = 1/m^3$).

For most of metals values of the surface tension σ_h are determined experimentally [136]. The surface energies γ of the metals are determined both experimentally and theoretically. Among the theoretical studies one should note partial results obtained for a number of metals using the method of density functional [137-139]. According to the authors, the empirical formula for γ in steel [140] has

good consistency with the experimental data. Hence it has been applied for a number of other metals:

$$\gamma = a_R \cdot \frac{E_V}{R^2} - a_C, \tag{11}$$

where R - atomic radius, a_R, a_C – empirical constants (a_R = 7128; a_C = 110 J/m^2).
In particular, for steel the result is γ = 1947 J/m^2 [140], which is about three orders of magnitude different from the known data [141]. Therefore, here we use data for other metals, namely, copper, iron, germanium and silicon for evaluating values of a_R and a_C [141 – 146]:

Fe: γ = 2.42 J/m^2; R = 0.11376 nm; E_V = 4.855 eV;

Cu: γ = 1.85 J/m^2; R = 0,11391 nm; E_V = 4.7 eV;

Si: γ = 1.623 J/m^2; R = 0.1358 nm; E_V = 4.8 eV;

Ge: γ = 1.398 J/m^2; R = 0.1415 nm; E_V = 4.76 eV. (12)

Substituting (12) into (11), we find:

metals – a_R = 0.2755 and a_C = 14.11 J/m^2 (13)

semiconductors – a_R = -0.01334 and a_C = -2.1778 J/m^2 (14)

Surface tension σ_h and surface energy γ are connected by Hering's relation [147]:

$$\sigma_h = K_R \left(\gamma + \Xi \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \Xi} \right)_T \right) \tag{15}$$

where K_R – factor for matching dimensions $\left([K_R] = \frac{N \cdot m^2}{m \cdot \mathrm{J}} \right)$, since $[\sigma_h] = \frac{N}{m}; [\gamma] = \frac{\mathrm{J}}{m^2}$; Ξ – surface area and $\left(\frac{\partial \gamma}{\partial \Xi} \right)_T$ represents the change of the surface energy during surface layer deformation at a constant temperature.

Based on the model, wherein the interfacial layer consists of two parts, the interfacial energy γ_m and interfacial tension σ_m at the interface between the substrate (semiconductor or insulator) – metal are defined by the following relations [133]:

$$\sigma_m = \int_{-H}^{H} \sigma_y dx, \quad \sigma_y = \sigma_z, \tag{16}$$

$$\gamma_m = \gamma_e + \xi_m \gamma_d;\ \gamma_e = \int_{-H}^{H} w_e dx;\quad \gamma_d = \int_{-H}^{H} w_d dx, \tag{17}$$

Here ξ_m – physical characteristics of the interfacial layer (dimensionless) $\left(\left. \frac{\partial \gamma_m}{\partial \gamma_d} \right|_{\gamma_e = const} = \xi_m \right)$; $2H$ – its effective thickness; γ_e, γ_d – electrical and mechanical components of the interfacial energy γ_m respectively, as in eq. (6).

Finally, by the analogy to the equilibrium condition of the surface layer [137, 138], we can write the equilibrium condition for the interfacial layer as in:

$$\frac{\partial \gamma_m}{\partial k} = \frac{\partial (\gamma_e + \xi_m \gamma_d)}{\partial k} = 0. \tag{18}$$

Boundary conditions. Let us formulate boundary conditions for metal – semiconductor (or insulator) interface (at $x = 0$) which corresponds to the electrical double layer. This interface is formed by conduction electrons from the side of metal and by bounded electrical charges from the side of semiconductor 132, 133]:

$$\varphi_+ = -\Phi_0;\ z_- = -Z_e;\ j_x^+ = j_{xe}^-;\ \sigma_y^+ = \sigma_y^-;\ \sigma_x^+ = \sigma_x^-;$$

$$\Psi^+ = \Psi^-;\ \vec{u}^+ = \vec{u}^-;\ E_\tau^+ = E_\tau^-;\ D_x^+ - D_x^- = \Omega, \tag{19}$$

where $\sigma_x^\pm$, $\sigma_y^\pm = \sigma_z^\pm$ – mechanical stresses along directions which are perpendicular to the interface between two media respectively; $\vec{u}^\pm$ displacement; $E_\tau^\pm$ - tangential component of the electrical field; $D_x^\pm, P_x^\pm$ - components of the electrical field induction and polarization vectors respectively are directed along the normal (axis x) towards the plane of interface ($x = 0$); Ω – density of the surface (excess, uncompensated) charges (created by free electrons). If the metal surface is not charged from the outside, then $\Omega = 0$.

The work of adhesion A_{ad} and adhesive bonds energy γ_{ad} are defined based on the known relations [133]:

$$A_{ad} = \sigma_h + \sigma_{ph} - \sigma_m,\ \gamma_{ad} = \gamma + \gamma_p - \gamma_m, \tag{20}$$

where σ_{ph} and γ_p - surface tension and energy of a semiconductor (silicon, germanium) which contacts with an inert gas medium (air) in which the pressure is

100 kPa.

Using the above method, we study the regularities of the behavior of the energy parameters of interfacial interaction - $\gamma_{m,}$, σ_m, A_{ad} and γ_{ad} of the interfacial layers for structures of solid-state electronics: graphene – (Si, Cu, Fe, Co, Au, Ag, Al, Ru, Hf, Pb) and semiconductor (silicon, germanium) – (Fe, Co, Cu, Al, Au, Cr, W, Pb). As input parameters for numerical calculations of the energy parameters in the interfacial layer of the contact system, we make use of the physical constants of elements (Young's modulus E, Poisson's ratio ν, surface tension σ_h, surface energy γ, the concentration of free electrons in the metal or bounded charged particles q). These values are summarized in [136-139, 141-146, 148-153]. In particular, for copper and silicon, these parameters take the following values:

$$E_- = 154 \text{ GPa}; \nu_- = 0.34; q_- = 8.38\cdot10^{28} \text{ m}^{-3};$$
$$\sigma_{h-} = 2.16 \text{ N/m}, \gamma_- = 1.85 \text{ J/m}^2 \text{ (Cu)};$$
$$E_- = 138 \text{ GPa}; \nu_- = 0.27; q_- = 5.0\cdot10^{28} \text{ m}^{-3};$$
$$\sigma_{h-} = 1.829 \text{ N/m}, \gamma_- = 1.623 \text{ J/m}^2 \text{ (Si)}; \quad (21)$$

Similarly as in (21), we write the source data for graphene (C) [154,155]:

$$E_+ = 1100 \text{ GPa}; \nu_+ = 0.37; q_+ = 2{,}646\cdot10^{28} \text{ m}^{-3};$$
$$\sigma_{h+} = 0.0467 \text{ N/m}, \gamma_+ = 0.0543 \text{ J/m}^2, \quad (22)$$

We consider a few graphene layers (conductor) on the solid surface in the “metal – graphene” or “semiconductor – graphene”. Furthermore we assume an ideal solid contact between the graphene and a solid body, neglecting the presence of adsorbed foreign particles (impurities) such as hydrogen, oxygen, etc. which is relevant in the present nanofabrication facilities. The calculation results of the studied systems are presented in Table 18.

Table 18.

Energy parameters of interfacial layers in composite systems: graphene – (Si, Cu, Fe, Co, Au, Ag, Al, Ru, Hf, Pb) and semiconductor (Si, Ge) – (Fe, Co, Cu, Al, Au, Cr, W, Pb).

Comment (ΔX – electronegativity difference for the interacting elements; interfacial energy – γ_m, the interfacial tension – σ_m, work of adhesion – A_{ad} and the energy of adhesive bonds – γ_{ad}; $Z_3 = \sigma_m / \gamma_{ad}$, $Z_4 = \sigma_m / A_{ad}$ – dimensionless coefficients).

№	Systems	ΔX	$\gamma_m, \frac{J}{m^2}$	$\sigma_m, \frac{N}{m}$	$A_{ad}, \frac{N}{m}$	$\gamma_{ad}, \frac{J}{m^2}$	Z_3	Z_4
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Cg-Si	0,65	0,54	0,73	0,66	0,69	1,06	1,11
	Cg-Cu	0,65	0,92	1,27	0,94	1,12	1,35	1,35
	Cg-Fe	0,72	1,05	1,38	1,15	1,21	1,14	1,14
	Cg-Co	0,67	1,21	1,69	1,21	1,36	1,24	1,40
	Cg-Au	0,15	0,69	0,98	0,93	0,79	1,24	1,05
	Cg-Ag	0,63	0,31	0,36	0,71	0,57	0,63	0,51
	Cg-Al	0,94	0,52	0,88	0,57	0,81	1,09	1,54
	Cg-Ru	0,35	1,61	1,79	1,76	1,43	1,25	1,02
	Cg-Hf	1,25	1,29	1,52	1,57	1,19	1,28	0,97
	Cg-Pb	0,75	0,23	0,41	0,52	0,9	0,46	0,79
2	Ge-Cr	0,45	0,71	1,29	2,25	2,06	0,63	0,57
	Ge-Cu	0,25	0,20	0,46	2,73	2,71	0,17	0,17
	GeAu	0,58	0,07	0,24	2,68	2,01	0,12	0,09
	Ge-Al	0,54	0,22	0,46	1,79	1,74	0,26	0,26
	Ge-W	0,31	3,23	2,71	3,22	4,97	0,65	0,84
	Ge-Si	0,11	0,64	0,66	1,77	2,94	0,33	0,37
	Ge-Co	0,13	1,50	2,10	1,84	2,42	0,62	1,14
	Ge-Fe	0,18	1,21	1,59	1,98	2,39	0,51	0,81
	Ge-Pb	0,21	0,43	0,52	1,21	1,6	0,28	0,43
3	Si-Cr	0,34	0,31	0,75	3,09	2,72	0,28	0,24
	Si-Cu	0,14	0,27	0,61	2,88	2,90	0,21	0,21
	Si-Au	0,38	0,12	0,37	2,84	2,24	0,17	0,13
	Si-Al	0,33	0,08	0,10	2,24	2,15	0,05	0,05

Continuation of table 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Si-W	0,20	4,06	3,83	2,32	3,92	1,04	1,65
	Si-Hf	0,60	0,96	1,42	2,53	2,66	0,36	0,65
	Si-Sn	0,06	0,42	0,62	1,47	1,29	0,33	0,37
	SiGe	0,11	0,64	0,66	1,77	2,94	0,33	0,37
	Si-Fe	0,01	1,21	1,26	2,54	2,18	0,58	0,50
	Si-Co	0,02	1,43	1,44	2,72	2,28	0,63	0,53

As shown in [133], the most sensitive parameter is the interfacial energy of the interphase. Fig. 49 shows the dependence of the interfacial energy for graphene based systems on the contacting element atomic number in the periodic table.

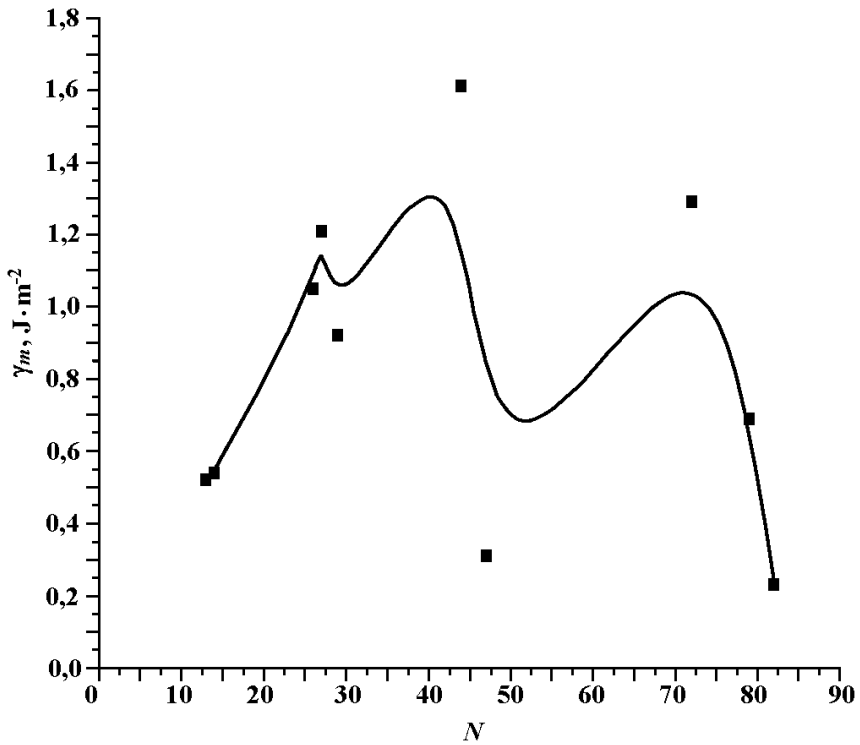


Figure 49. Dependence of the interfacial energy in systems graphene – (Si, Cu, Fe, Co, Au, Ag, Al, Ru, Hf, Pb) on atomic number in the periodic table of the elements

As it can be seen, the approximated dependence $\gamma_m(N)$ doesn't have the monotonic trend and is characterized by several maxima for elements with atomic

numbers 27, 45, 73. During the processes of metal condensation on a solid substrate, the initial stage of nanocondensate substrate can significantly influence the processes of self-organization, thus forming specific structural complexes. The degree of self-organization is determined by the difference in electronegativity ΔX of interacting elements [133]. According to Pauling [147], at $\Delta X < 0.4$ covalent type of bonding is dominant, whereas for $\Delta X > 0.4$ ionic bonding is stronger. Therefore, it is appropriate to study the dependence of interfacial energy on this parameter. Fig. 50 shows the dependence of the fitted γ_m (ΔX) for the elements under study.

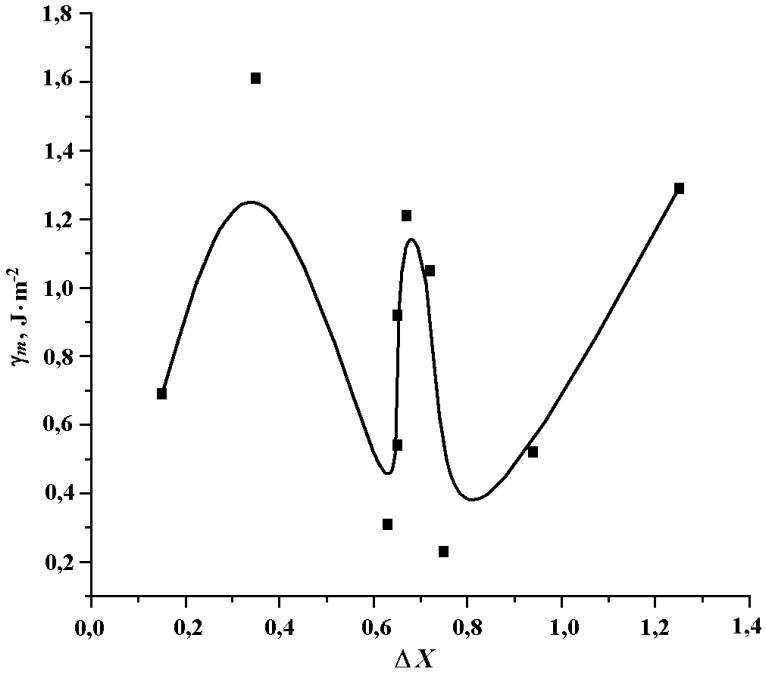


Figure 50. Dependence of the interfacial energy in systems graphene – (Si, Cu, Fe, Co, Au, Ag, Al, Ru, Hf, Pb) on the elements electronegativity difference (points correspond to calculated values; solid line is an approximated dependency).

The characteristic features of the dependence are significant non-monotonic changes of interfacial energy with increasing ΔX. In particular, in the ΔX range of 0.15-1.3 we observe two maxima: broad at $\Delta X = 0.4$ and narrow close to $\Delta X = 0.7$. Furthermore, there is a sharp γ_m increase when ΔX increases above $\Delta X = 0.8$. The

maximum γ_m value observed at $\Delta X = 0.4$, apparently corresponds to the predominantly covalent bonding behavior. Subsequent γ_m behavior with increasing ΔX can be interpreted only from the standpoint of a more complex type of chemical bond with a significant contribution of the ionic component, implemented by chemical elements in the formation of interfacial layers in contact pairs.

Studied dependencies $\gamma_m(N)$ and $\gamma_m(\Delta X)$ have quite complex shapes also for structures in semiconductors Si and Ge. In particular, $\gamma_m(N)$ dependence for Si-system is characterized by two distinct peaks at N = 26 and 73, within which the interfacial energy reaches its maximum value (Fig. 51).

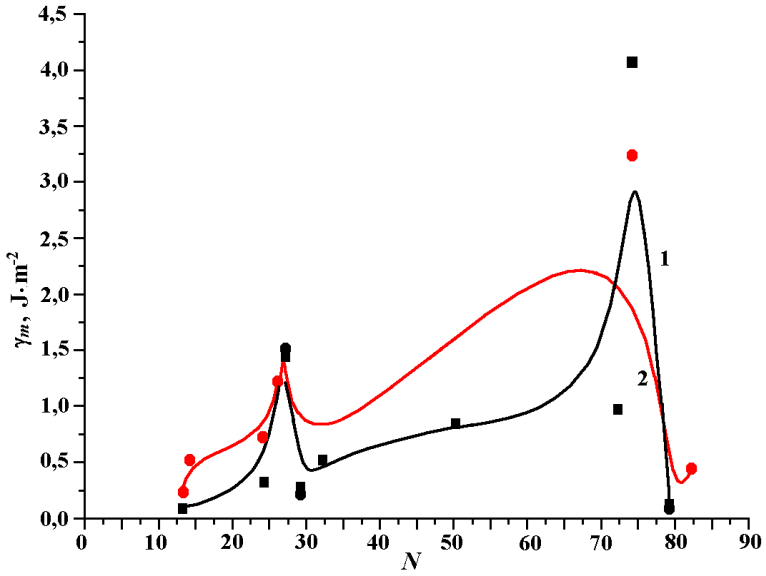


Figure 51. Dependence of the interfacial energy in systems (Si, Ge) - (Fe, Co, Cu, Al, Au, Cr, W, Pb) on atomic number in the periodic table of elements.

By increasing the sequence number from $N = 13$ to 73 we observe an increase in the interfacial energy, and its value at the second maximum is almost 2 times higher in comparison to the similar system based on graphene. For Ge-systems the dependence has a similar character. Interestingly there is a full match of the first maximum ($N = 26$) with Si-systems. The second maximum is bell-shaped with the maximum value of interfacial energy smaller by almost 1.5 times compared to Si-

systems.

Studied dependencies $\gamma_m(N)$ and $\gamma_m(\Delta X)$ have quite complex shapes also for structures in semiconductors Si and Ge. In particular, $\gamma_m(N)$ dependence for Si-system is characterized by two distinct peaks at $N = 26$ and 73, within which the interfacial energy reaches its maximum value (Fig. 51). By increasing the sequence number from $N = 13$ to 73 we observe an increase in the interfacial energy, and its value at the second maximum is almost 2 times higher in comparison to the similar system based on graphene. For Ge-systems the dependence has a similar character. Interestingly there is a full match of the first maximum ($N = 26$) with Si-systems. The second maximum is bell-shaped with the maximum value of interfacial energy smaller by almost 1.5 times compared to Si-systems.

Despite Si and Ge are the closest analogs in several properties of the semiconductor, the interfacial energy for systems based on these semiconductors differs substantially due to the difference values of electronegativity (1.9, 2.01). Nevertheless, $\gamma_m(\Delta X)$ dependencies are similar for two semiconductors (Fig. 52).

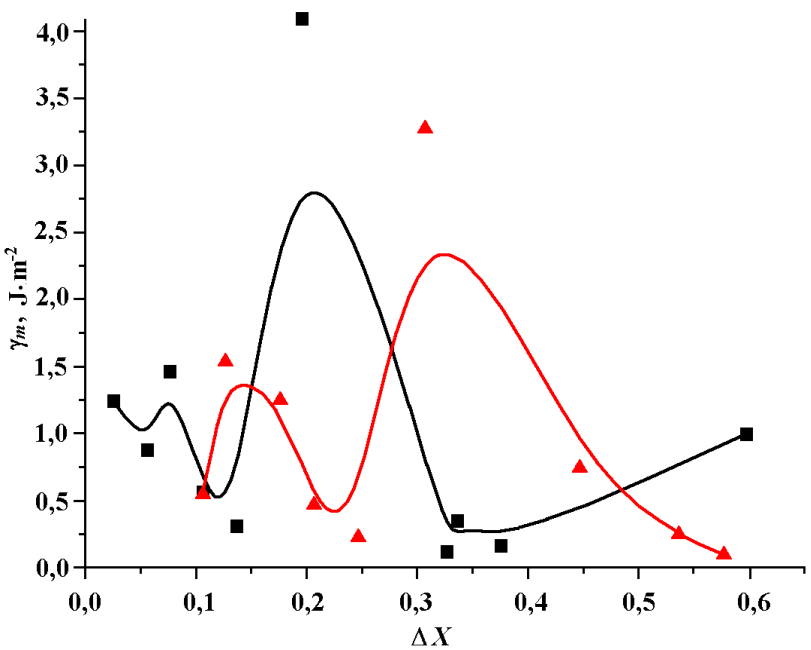


Figure 52. Dependence of the interfacial energy in systems (Si, Ge) - (Fe, Co, Cu, Al, Au, Cr, W, Pb) electronegativity Difference (points correspond to calculated values;

solid line is an approximated dependency).

In particular, in both cases they have two distinct peaks. The first is a bland peak at $\Delta X = 0.07$ for Si-system and a sharper peak at $\Delta X = 0.11$-0.13 for Ge-systems. The second peak has higher maximum value and peaks at $\Delta X = 0.2$ for Si-system. For Ge-systems we observe a little bit smaller bell-shaped peak at $\Delta X = 0.31$. As follows from Fig. 52, $\gamma_m(\Delta X)$ dependencies for both semiconductors are mutually shifted along ΔX axis due to the greater electronegativity of germanium. Other parameters presented in Table 18 (σ_m, A_{ad} and γ_{ad}) have similar dependencies and characteristic maximums on N and ΔX as for γ_m. This fact justifies our calculation approach as well as the generality of formation mechanisms in the analyzed surface pairs.

Finally, we would like to propose to use dimensionless coefficients $Z2$ and $Z4$ as the energy characteristics of interfacial layers. These coefficients are invariants for each of the studied system (see table). Also interestingly coefficients $Z3$ and $Z4$ are equal in all three "copper" systems as well as for Si-Al, Ge-Al and Cg-Fe.

The metal-semiconductor structures described above are used in modern microelectronics as base elements of microelectronic devices and are promising for the development of unique nanodevices functioning on new physical principles. Of particular importance are structures of "silicon–metal condensates, e.g. copper, aluminum, chrome, gold" obtained by methods of vacuum evaporation. In this context, let us study intrinsic stresses and peculiarities of the interphase interaction in the system "single crystal silicon–copper condensate". Critical for such structures is considerable non-equilibrium of processes of their formation and, as a result, significant structural imperfection. Additionally, because of differences in thermal expansion coefficients of substrate and deposited metal, non-equilibrium structural and chemical processes during deposition, the micro- and macro stresses occur, which values can even exceed tensile stress of the structure elements. The nature of thermal stresses is quite clear today allowing successful minimization of this component in microelectronic devices. However, physical nature of intrinsic stresses is far from understanding and is based mainly on the defect-impurity nature of metal

condensates. Note that without proper understanding of mechanisms of formation of the intrinsic stresses, the development of advanced nanoelectronics devices is not possible.

Let us briefly discuss the current state of this problem. In several works, for example [156–158], it has been noted that the structure of metal films obtained under non-equilibrium conditions is characterized by the presence of grains of small dimensions and blocks, a high density of dislocations and considerable values of oriented micro deformations. According to [159], the sources of such micro deformations in the condensates are dislocation loops located mainly in the film plane and formed as a result of quenching of vacancies during the formation of the film from vapor onto cold substrates. Additionally, local deformations can be generated also by the self-organized dislocations in dislocation ensembles and formation of heterogeneous dislocation structures [160]. Because formation of copper films takes place under strong non-equilibrium conditions, concentration of vacancies in them considerably exceeds the value typical for bulk materials and can reach the value of 10^{-2}–10^{-3} [159]. Therefore, coalescence of vacancies into caverns and micropores is inherent to such structures. It is believed that all these defects cause an increase in the specific volume of condensate and, as a consequence, an increase in intrinsic stresses whose nature is structural. Certain structural aspects of formation of intrinsic stresses in vacuum condensates have been studied in early papers [156; 160–161]. Other models of intrinsic stress formation based on structural imperfections–surface disordering, grain boundary relaxation, growth of grains and also impurities model are also known [162].

Since the process of the film formation is accompanied by continuous phase formation, it is advisable to consider it from the position of interphase interactions. In particular, according to modern concepts, such a process takes place with formation of interphase boundaries within the condensate itself (Cu–Cu) and in the substrate-metal condensate (Si–Cu) system. If a certain type of a film formation corresponds to a deterministic type of interphase interaction, then the kinetics of changes in the mechanisms of interphase interaction will reflect a change in intrinsic stresses during

deposition. Quantitative parameters of such interaction are the energy parameters: γ_m, σ_m, A_{ad}, γ_{ad}.

Given that the deposition rate is defining in the formation of the film structure, the dependence of intrinsic stresses in copper condensates on silicon on the rate of their condensation for thicknesses 50, 100 and 300 nm has been experimentally studied. Films of copper were deposited by thermal vacuum vaporization onto substrates of the single crystal silicon of the (111) orientation in the VUP-5A vacuum post under a residual vapor pressure of not less than 10^{-5} Pa.

For experiments, we used the technique of a synchronous measurement of intrinsic stresses based on the cantilever method [158]. The magnitude of the stresses was calculated by the Stoney's formula.

Dependencies of intrinsic stresses in the copper condensates on silicon on the rate of their condensation are shown in Fig. 53.

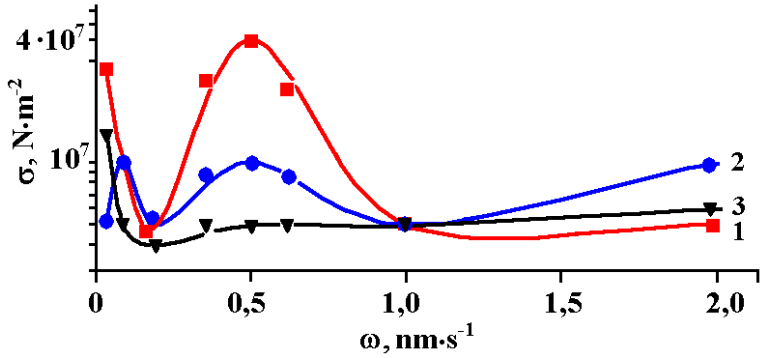


Figure 53. Dependence of intrinsic stresses in the copper condensates on silicon on the rate of their condensation for thicknesses:
1 – 50, 2 – 100, 3 – 300 nm

As we see, when deposition rates are very low ($\omega < 0{,}2$ nm·s^{-1}) for selected thicknesses, the level of intrinsic stresses is high, however, it sharply decreases within a small range of increase in rates (0,03 – 0,2 nm·s^{-1}). In this range for thickness 300 nm, dependence $\sigma(\omega)$ considerably differs – there is a local maximum at the rate 0,5 nm·s^{-1}. With a further increase of the condensation rate, the following features are

characteristic. First of all, for selected film thicknesses at the rate 0,5 $nm \cdot s^{-1}$, the level of intrinsic stresses increases and reaches maximum value at the condensate thickness of 100 nm. However, as we can see, the most interesting and practically important result is the presence of characteristic deposition rate of 1,0 $nm \cdot s^{-1}$, at which the level of intrinsic stresses is the same for all selected film thicknesses. Thus, the problem of minimization of stresses in a real system of "copper condensate–single crystal silicon" in our case has an unambiguous solution. Characteristic fact is that the increase in the rate above 1,0 $nm \cdot s^{-1}$ for thicknesses 100 and 200 nm is not accompanied by a change of the stress level, however for thickness 300 nm its value reveals a tendency to further growth. For the rates analyzed, deposited films possess a crystalline structure with an average lateral dimension of a grain of 51, 39 and 43 nm, correspondingly.

To substantiate the behavior of dimensional dependences of mechanical stresses and an impact of technological factors, it is necessary to proceed primarily from the thermodynamic principles of film formation.

In existing concepts [159] based on the nucleation mechanism, the determining parameter is surface energy. At a stage when behavior of island condensed phases is determined precisely by surface energy (wetting, adhesive interaction, formation of the condensed phase nuclei), the impact of dimensional factor will be defining. Indeed, studies within the framework of phenomenological theory indicate the existence of dimensional dependences of the surface energy in nano disperse systems not only corresponding to the shape and dimension of nano objects, but also to the number of particles in it [163; 164]. Thus, a change of surface energy during the condensate layering with the simultaneous transformation of the film substructure will cause change of intrinsic stresses in the film and other mechanical parameters of it.

The dimensional dependence of surface energy in the thermodynamics of the Gibbs heterophase systems is, as is known [159], a regular phenomenon and is caused by the curvature of the phase boundary. It is clear that when grain boundaries are formed during their condensation, the grain boundaries will have excessive surface

energy. Therefore, the change of the surface energy during the condensate layering with simultaneous change in the film substructure will be accompanied by a change of intrinsic stresses in condensate and also of its other mechanical parameters, for example the Young modulus. Thus, during the experiment, mechanical properties of the films and, mainly, intrinsic mechanical stresses are the most sensitive to changes in energy parameters.

When describing the kinetics of the metal film formation on a substrate we will assume that it is incorrect to describe formation of the condensate during deposition by a simple model with a sequential imposition of layers that structurally repeat each other and differ only in the set of corresponding moduli $E_1 \ldots E_n$. In our opinion, the most acceptable is the model of randomly arranged microregions, which are deformationally disordered relative to the substrate (at the nanocondensate stage) or the subsequent layers of condensate turned around, respectively, relative to each other during deposition.

In particular, the kinetics of deposition process assumes that each following layer during condensation is formed onto the previously directionally deformed sublayer including randomly distributed micro deformations in grain volumes, made in directions of easy slipping typical for this film crystal structure.

For the initial stage of condensation with accounting for the dependence of Young modulus on orientation by angle θ between directions of previous deformation and emerging stresses [162], the "silicon-copper condensate" system shows considerable directional dependence of the energy parameters of the interphase interaction. In particular, interphase energy within the limits of the disorientation angle (0–90°) has the bell-shaped appearance reaching a maximum value at an angle of 45°. However, completely opposite, however regularly, the energy of adhesive bonds is symmetrically changed reaching the minimum at angle θ equal to 45° (fig. 54).

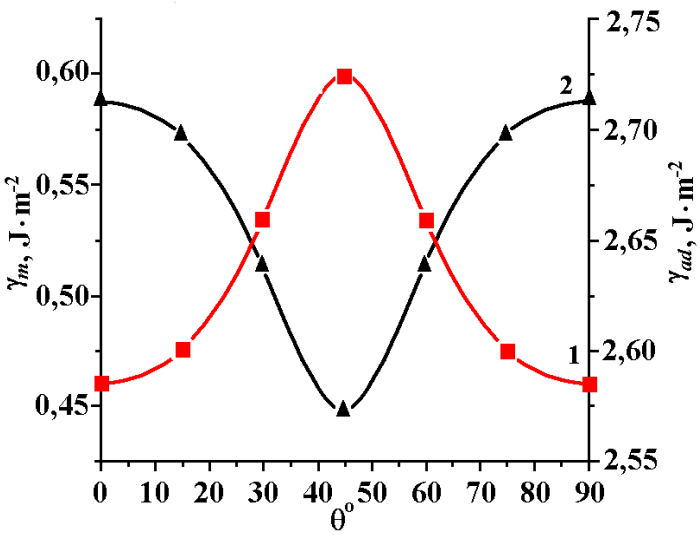


Figure 54. Anisotropy of interphase energy (1) and energy of adhesive bonds (2) in condensates of copper on silicon

Behavior of other energy parameters σ_m, A_{ad}, is also characterized by the regularities described (table 2).

Table 19.

Anisotropy of energy characteristics of copper condensates on silicon substrate

θ, °	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°
σ_m, N/m	0,676	0,700	0,787	0,882	0,792	0,704	0,682
A_{ad}, N/m	2,812	2,788	2,701	2,606	2,696	2,784	2,806
$z_{ad} = \frac{A_{ad}}{\gamma_{ad}}$	1,036	1,033	1,023	1,012	1,023	1,033	1,036
$z_m = \frac{\sigma_m}{\gamma_m}$	1,470	1,471	1,471	1,470	1,469	1,470	1,467
$z_1 = \frac{\gamma_m}{\gamma_{ad}}$	0,169	0,176	0,203	0,213	0,205	0,178	0,172
$z_2 = \frac{\sigma_m}{A_{ad}}$	0,240	0,251	0,291	0,338	0,294	0,253	0,243

To characterize the interphase interaction, the dimensionless parameters z_{ad}, z_m, z_1 are also introduced.

The resulting direction of mechanical stress of the upper layer will be determined by the statistical processes of coalescence of nonequilibrium vacancies, the interphase boundary "deformed lower layer - stressed next layer" and the formed dislocation loops; it generally will not coincide with the spatial direction of the prior strain of the lower sublayer. Thus, an orientation dependence of the interphase energy parameters (by the angle θ) arises in the local spots of the deposited condensate. Thus, a statistical set of regions disoriented one relative to another and having certain local mechanical stresses with different spatial ordering will form in the plane of condensate. Total stress registered during the experiment is an integral result of local stresses statistically distributed over the film plane that are caused by anisotropy of the energy parameters of interphase interaction within the condensate plane.

As is known, in the theory of elasticity, the dependence of the elastic constants on the direction is defined on the basis of postulates, according to which the elastic deformation constants form a symmetric tensor of the 4th rank in a three-dimensional space. When the elastic constants relative to main directions are known, determination of their values in the direction that forms certain angles with the main ones is equal to the corresponding rotation of coordinate axes and calculation of new constants by directional cosines of the angles mentioned.

Let us analyze the growth of a copper film on a silicon substrate with accounting for changes in the surface and interphase energies during its condensation.

To describe the physical mechanism of the film's structure formation during their deposition, we will proceed from the dislocation nature of grain boundaries, formed due to coalescence of thermodynamically nonequilibrium vacancies [165]. Let us use the above technique of assessment of the energy parameters.

Components of stresses σ_x and σ_y are determined by equations of state [165]:

$$\sigma_{ij} = E\left(ve/\left(1+v\right)\right) - b\varphi^3\delta_{ij}\left(1-2v\right)Ee_{ij}\left(1+v\right),$$

$$\omega_v = \rho\omega = \varepsilon_0 k^2\varphi + bEe/3\left(1+v\right) \qquad (23)$$

and boundary conditions [165; 166]:

$$\varphi = -\Phi_0, \ \sigma_x = -(\varepsilon_0/2)(\partial\Psi/\partial x)^2 \text{ at } x=0,$$

where σ_{ij}, e_{ij} – components of tensors of stresses $\hat{\sigma}$ and strains (i, j = 1, 2, 3); $\sigma_{11} = \sigma_x$; $\sigma_{22} = \sigma_y$; b, k – characteristics of material; δ_{ij} – Kronecker symbols; e – first invariant of the deformation tensor; ρ – density of material; ω_v, ω – special and atomic densities of electric charge correspondingly; E, v – elastic constants; $\varphi = \Phi - \Phi_0$ – deviation of the modified potential Φ of electric charges from its equilibrium value Φ_0 in the body volume far from the surface; Ψ – scalar potential of the electric field strength.

On the base of system of equations (23) using numerical values of constants for silicon and copper (21), it is found that the normal stresses σ_{yy} and deformations ε_y of the first boundary layer of copper parallel to boundaries take on the following values:

$$\sigma_{yy} = 5{,}8 \text{ GPa}; \ \varepsilon_y = \sigma_{yy}/E_1 = 0{,}05. \tag{24}$$

Following deposition of successive layer, the previous layer becomes inner. Under these conditions, stresses σ_{yy} relax. Accordingly, deformations are reduced to $\varepsilon_y = 0{,}05$ (24). Concentration of vacancies in the second layer starts growing and tends to the finite possible value – 5 %. However, concentration of vacancies will not reach the limiting value because during relaxation of stresses the vacancies are annealed and migrate in parallel to the interface [167].

Thus, depending on evaporation rate, a certain type of substructure with corresponding grain size is established. Certain level of intrinsic stresses and also, according to the Hall-Petch relationships, deterministic values of σ_{n1} correspond to such grains and film thicknesses.

Experimentally established that the most interesting from point of view of changes in physical and mechanical properties is the range of evaporation rates:

$$w_n = [w_{n1}; v_{n2}] = [0{,}2 \text{ nm/s}; 0{,}5 \text{ nm/s}], \tag{25}$$

corresponding to such parameters of the copper film:

$$D_n = [D_{n1}; D_{n2}] = [400 \text{ nm}; 1600 \text{ nm}]; \ \sigma_{yn} = [\sigma_{yn1}; \sigma_{yn2}] = [17 \text{ MPa}; 51 \text{ MPa}];$$

$$h_n = [h_{n1}; h_{n2}] = [56 \text{ nm}; 110 \text{ nm}]. \tag{26}$$

Here, D_n – grain dimensions, σ_{yn} – maximum normal tensile stresses in the film (acting in parallel to the boundary and inside over thickness), corresponding to film thicknesses [h_{n1}; h_{n2}]. An analysis of changes in mechanical stresses σ_{yn} in the film allowed to find out that numerical values decrease continuously from the values that are slightly smaller than σ_{yy} = 5,8 GPa to σ_{yn1},σ_{yn2}. However, technique based on the Stoney's formula does not permit to register such stresses. There is a transition period during which the stresses in the film decrease to a certain value (e.g. to σ_{yn1}, σ_{yn2}), and the displacements of the console, δ, increase to certain maximum values (they correspond to σ_{yn1}, σ_{yn2}). Therefore, the stresses of type σ_{yn} (in particular σ_{yn1}, σ_{yn2}) correspond to completion of the transition period of the increase of the console displacements δ, and also define stresses, starting from which their values in the film can be controlled using capacitance-type recorder. Note that when rates are $w_n < w_{n1}$ and $w_n < w_{n2}$, maximum stresses σ_{yn} decrease as the rate increases. In the range (25), the opposite pattern is observed: σ_{yn} = [17 MPa; 51 MPa], in correspondence with variations of mechanical moduli and dimensions of the grain.

According to the experimental technique used, it was found for the range (25):

$$E = [E_1; E_2] = [118 \text{ GPa}; 128 \text{ GPa}]; \; w = [w_1; w_2] = [0{,}372; 0{,}347]. \qquad (27)$$

Experimentally obtained values of the yield strength σ_m for films are smaller by 5–20% depending on the grain size D, as compared to polycrystalline copper [168].

$$D_a = 200 \text{ nm} – \sigma_{ma} = 450 \text{ MPa}; \; D_b = 400 \text{ nm} – \sigma_{mb} = 370 \text{ MPa};$$

$$D_c = 600 \text{ nm} – \sigma_{mc} = 310 \text{ MPa}; \; D_d = 800 \text{ nm} – \sigma_{md} = 270 \text{ MPa}. \qquad (28)$$

Let us evaluate the change of the interphase energy of the "copper film-silicon substrate" boundary relative to the surface energy of silicon using technique as in [165;168]. In particular, calculations prove: relative change of the interphase energy during first layer of copper film with grain size 200 nm is 58%. During deposition of the following layer with grain size 800 nm, the change of interphase energy is 35%. Thus, the internal dimensional effect is accompanied by a change in the energy parameters of the interphase interaction between the interacting grains of the film.

5.2 Development of technology for creating ohmic contact to porous gaas

The low-level transition resistances of the Pd/GaAs and Pd/porousGaAs contacts are due to the small thickness of the porous GaAs layer and the low resistance of the initial heavily doped n-type GaAs.

Figures 55 (a) and 55 (b) show the I – V characteristics of the Schottky contacts Pd/GaAs and Pd/porousGaAs obtained for the samples under study. As can be seen, the characteristics I (V) of all structures differ markedly. It can also be seen from I-V that the Pd/porousGaAs contact fabricated at low current is closest to the Schottky contact. It can be assumed that a certain decrease in the forward current at the input occurs in the case of Pd/porousGaAs compared with Pd/GaAs. The obvious explanation for this decrease is that the porous layer consists of pores where there are no carriers, and the rest is single-crystal GaAs, lies in the layer where the electron concentration is n-GaAs ND = 10^{16} cm^{-3}.

Based on the I-Vs obtained in the work, the ideality coefficient and series resistance for the structures of all samples were determined and the results are summarized in the table 19.

The obtained values of the barrier height potential are significantly higher than the results of measurements of I(V). Such differences are due to the presence of an interphase layer and interface states at the Pd/GaAs and Pd/porousGaAs boundaries. The formation of a thin interfacial layer is inevitable in the manufacture of the device by conventional methods. Such an interfacial layer induces trap levels at the metal / semiconductor interface, causing a deviation from ideal behavior and, consequently, significantly increasing the barrier height potential.

Table 19.

Values of ideal coefficient (n), series resistance (Rs) and Schottky barrier height (ϕb) of contacts Pd / GaAs and Pd / porGaAs for the samples under study.

Sample	Ideal factor (n)	Serial impedance (Rs), Ohm	The height of the Schottky barrier (ϕb), eV
Pd/GaAs	1,1	1,7	0,65

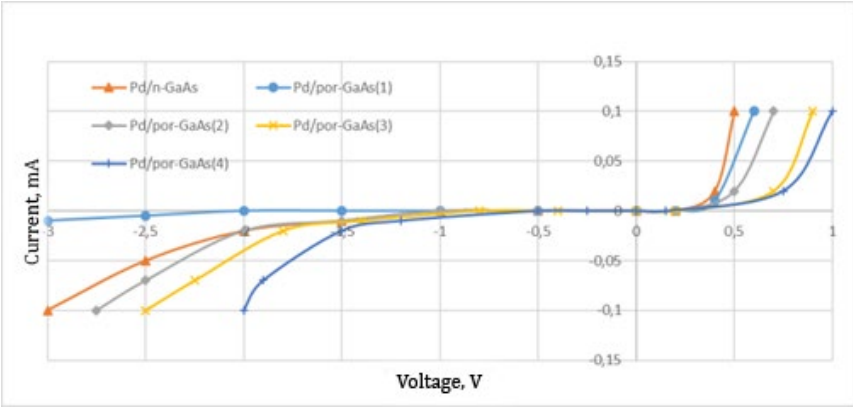
Continuation of table 19

Pd/pGaAs (1)	1,24	1,76	0,68
Pd/pGaAs (2)	1,35	1,78	0,69
Pd/pGaAs (3)	1,5	1,8	0,7
Pd/pGaAs (4)	1,7	1,87	0,72

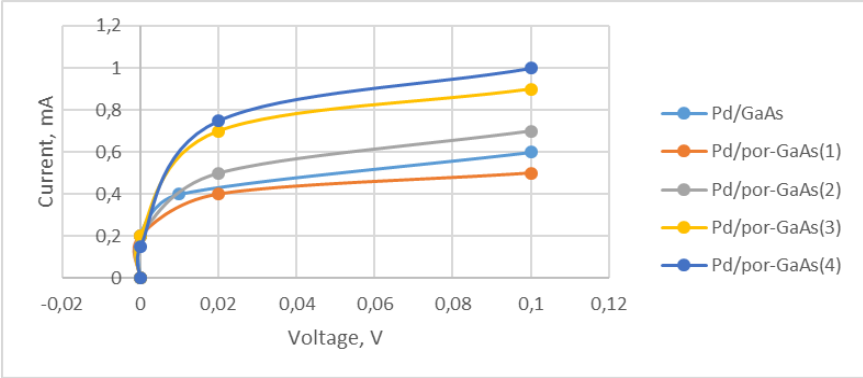
The equation of the dependence of the Schottky barrier height (ϕб, eV) on the thickness of the porous layer for the etching modes described above, obtained by approximating the experimental data is described by the following expression:

$$\phi_б = 0{,}0038h_c + 0{,}6765 \quad (1)$$

In addition, the obtained values of the ideality coefficient remain larger than unity for the Pd / GaAs and Pd / pGaAs contacts. Obviously, this is due to defects caused by the presence of a thin insulating layer, the involuntary formation of an oxide layer during the manufacture of contacts between palladium and n-GaAs or pGaAs. Indeed, it is assumed that both contacts behave like a metal/interlayer/semiconductor configuration, where the interfacial layer causes a voltage drop across the intercontact layer [169]. We can say that the ideality coefficient of Pd/porousGaAs is slightly higher than that of Pd/n-GaAs, and depends on the etching mode, which is associated with inhomogeneities in the interface between Pd and porousGaAs. Moreover, the series resistance values are close to 2 Ohms for the Pd/n-GaAs and Pd/porousGaAs structures and lower than the authors of the works devoted to the Pd/n-GaAs Schottky contact [170] give. In addition, the barrier height potential ϕb between Pd and n-pGaAs is slightly higher than that of Pd and n-GaAs. This can be explained by the fact that the band gap of n-pGaAs is larger than that of n-GaAs (Fig. 6 (a) Eg, n-GaAs = 1.42 eV, Fig. 6 (b) Eg, n-porousGaAs = 1.52 eV).



a



b

Figure 55. I-V characteristics of the Schottky contacts for the studied Pd / GaAs and Pd / pGaAs samples (a) linear and (b) semilogarithmic scale.

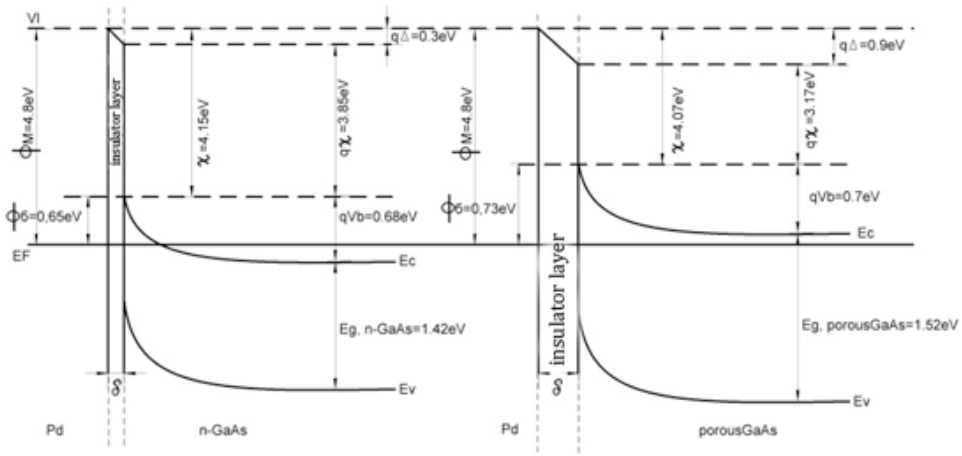
The energy band diagram of Pd / n-GaAs and Pd / pGaAs constructed by the authors is presented in Fig. 56. Since there are surface states with a sufficiently high density (porous layer) on the surface of pGaAs, a situation corresponding to the equilibrium between surface states and states in the semiconductor bulk is realized in the absence of thermodynamic equilibrium between the semiconductor and the metal. In this case, all surface states located below the Fermi level are filled. When the contact comes into thermodynamic equilibrium, the Fermi level of the semiconductor decreases relative to the Fermi level of the metal by an amount equal to the contact potential difference (Fig. 56b), as a result of which an electric field appears in the gap between the metal and the semiconductor. In addition, it is assumed that the obtained high values of the density of surface states are due to the presence of a porous layer and its morphology.

In this case, if the density of surface states is sufficiently high and assumes the entire additional positive charge that occurs as the gap between the metal and the semiconductor decreases, without a noticeable shift in the Fermi level, then the space charge in the semiconductor remains the same. That is, in this case, the height of the potential barrier is determined only by the pGaAs morphology and does not depend on the work function of the metal.

When bias voltage is applied, part of it falls on pGaAs, therefore, the barrier height depends on bias voltage. This leads to a change in the shape of the I – V characteristic, and also leads to a change in the ideality coefficient, which is confirmed by the results obtained in this work (Table 1)

Thus, the potential barrier can be controlled by selecting the appropriate pair of metal and semiconductor. As shown above, for GaAs, this model works, and, as a rule, ϕb is observed to depend on the metal function for GaAs. This means that within the framework of this model, the rectifying properties of GaAs Schottky diodes will depend on the properties of the metal used, namely its functioning.

The charge density in the transition region can be changed by controlling the operation of the metal, and thus the Fermi level can be reduced by decreasing the density of surface states. Then the height of the barrier is simply controlled by the difference between the work of the metal and the planar energy zone of the semiconductor. When the metal-semiconductor transition has a high series resistance and a high density of states in the transition region, the ideality coefficient (n) becomes greater than unity, and then the components of the current recombination increase.



a b

Figure 56. The energy band diagram for: (a) the Pd/n-GaAs contact and (b) the Pd/porousGaAs contact (sample No. 4): (Vl - vacuum level; EF - Fermi level energy; Ec - bottom of the conduction band; Ev – is the ceiling of the valence band; $q\chi$ is the electron affinity of the semiconductor; ϕ_M is the electron work function of the metal; ϕ_δ is the height of the potential contact barrier; q_Δ is the part of the barrier that falls on the insulating layer; q_{Vb} is the amount of band bending on the surface of the semiconductor; δ is the thickness of the intermediate insulating (porous) layer; Eg - band gap).

The high ideality coefficient can be explained by the sum of the ideality coefficients of the porousGaAs/GaAs heterojunction and the metal/pGaAs Schottky barrier. In addition, porousGaAs has a very large effective surface area and therefore a large concentration of unsaturated bonds, which can act as a high concentration of carrier traps in porousGaAs. Therefore, porous layers with high resistance make a significant contribution to the large value of the dynamic series resistance of the metal/porousGaAs/GaAs/metal structure.

SECTION 6.
ENGINEERING GRAPHICS

6.1 Application of automated design systems in graphic training of students

На сучасному етапі розвитку суспільства рішення задач інженерної діяльності пов'язані із застосуванням автоматизованих систем проектування (САПР) набазі електронно-обчислювальної техніки. Інженерна і комп'ютерна графіка становить основу інженерної освіти, формує базові знання необхідні для вивчення спеціальних дисциплін.

Засвоєння курсу «Інженерної та комп’ютерної графіки»передбачає вміння читати креслення, зображати на них деталі і складальні одиниці, а також знання стандартів Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД). Продуктивна робота з кресленнями неможлива без уміння мислити просторово, тобто без здатності уявляти форми предметів і їх взаємне розташуванняу просторі, аособливо актуальнимце стає в роботі з новими технічними засобами.

Сьогодніоднією з основних вимог в інженерної підготовки фахівців є використання комп'ютерної техніки та відповідного програмного забезпечення, а це вимагає поглибленого знання нарисної геометрії. CAD технології змінили інструментарій предмета, але необхідність вивчення курсу нарисної геометріїне відпала, бо тільки достатня база геометричних знань дає змогу вирішувати завдання геометричного моделювання.

Нарисна геометрія базується на методі проекційі в сучасних системах автоматизованого проектування (САПР) реалізуються ті ж апарати проектування (центральне, паралельне). В системі AutoCAD при двомірному моделюванні будують креслення на площині (ортогональне проектування). А при 3D моделюванні модель відображається на екрані монітора, як довільна паралельна проекція (аксонометрія), а по ній здійснюється зображення стандартних видів[171, с. 187]. Таким чином, реалізується пряма задача нарисної геометрії – побудова проекцій геометричного образу на площині

(екрані монітора) по просторовому оригіналу (3D-моделі). При побудові наочних зображень різних архітектурних споруд в AutoCAD застосовують центральне проектування.

В процесі підготовки майбутніх інженерів на етапі освоєння ними комп'ютерної графіки важливим є питання використання для навчання системи автоматизованого проектування (САПР) яка б мала: інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, вбудовані бібліотеки або додаткові модулі, що розширюють можливості програми та підтримувала основнідержавні стандарти.

В Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова при вивченні дисципліни «Інженерна графіка». використовуютьпрограми AutoCAD та КОМПАС-3D, які встановлено у спеціально облаштованих лабораторіях.Система AutoCAD є найпоширенішою в середовищі проектувальників, конструкторів, інженерів і дизайнерів та найбільш гнучкою з існуючих графічних програмних систем, здатною ефективно працювати в самих різних областях інженерного проектування. За її допомогою можна виконувати практично всі види креслярських робіт, необхідних в різноманітних областях технічного проектування, створювати двомірні креслення та тривимірні моделі. Система включає засоби проектування, моделювання та візуалізації просторових конструкцій, доступу до зовнішніх баз даних, інтелектуальні засоби нанесення розмірів на кресленику, роботи з файлами найрізноманітніших форматів і багато іншого.

Першокурсники швидко засвоюють прийоми найпростішої креслярської роботи на комп'ютерах, після вивчення базової теорії креслення. Навіть не найсильніші студенти на заняттях з комп'ютерної графіки займаються з великим інтересом. Вже на третьому занятті, учні можуть самостійно будувати прості 3D-моделі. Величезне значення має те, що студенти можуть за допомогою комп'ютера розглянути побудовану модель у всіх проекціях, з розрізами і перерізами на двовимірних кресленнях. У той же час, робота з двовимірними кресленниками допомагає їм відтворити геометричну форму

деталі. Таким чином, 3D-технології допомагають навіть слабо підготовленим студентам розвивати просторове мислення [172. с 90].

КОМПАС-3D система тривимірного моделювання, що вдалопоєднує простоту освоєння і легкість роботи з потужними функціональними можливостями моделювання тіл та поверхонь. Вона здатна вирішувативеликій спектр завдань технічного проектування і конструювання практично у всіх галузях промисловості і будівництва.

В системі КОМПАС-3D також можливе створення тривимірних асоціативних (пов'язаних сдвовимірними кресленням) моделей окремих деталей і складальних вузлів, що містять як оригінальні, так і стандартизовані конструктивні елементи. Параметрична технологія програми дозволяє швидко отримувати моделі типових виробів на основі вже спроектованого прототипу. Наявність великої кількості графічних, а також розрахунково-графічних бібліотек різного профілю (машинобудівного, будівельного, приладо-будівельного, електричного і т.і.) надаєстудентам можливістьбудувати реалістичну просторову віртуальну модель вузла, збираючи їїз об'ємних примітивів, а бо за допомогою бібліотечних елементів. Модель, яка сформовану на екрані можна оглянути з усіх боків, розрізати, відредагувати, зробити інженерний розрахунок. [173, с. 2].

Комп'ютерна графіка викликає у студентів підвищений інтерес до дисципліни, значно спрощує виконання графічних завдань, розвиває творчий підхід до вирішення інженерних завдань. Все це сприяє процесу засвоєння інженерної графіки та геометричного моделювання.

Зараз активно іде процес впровадження новіших інформаційних технологій в різні галузі промисловості. Тому стає особливо актуальною побудова системи навчанняу вузі, яка забезпечує висококваліфіковану загально-інженерну графічну підготовку [174. с. 149].

30 листопада 2019 року Міністерство розвитку громад і територій України, Офіс ефективного регулювання (BRDO), Асоціація «УЦСБ», «Міждержавна гільдія інженерів-консультантів», Конфедерація будівельників України та

ініціативна група UA BIM TaskGroup підписали Меморандум «Дорожня карта впровадження інформаційного моделювання будівель (BIM) при створенні об'єктів будівництва, об'єктів архітектури».

В Україні гостро відчуваєтьсяпроблема забезпечення будівництва компетентними кадрами. Практично кожна будівельна компанія відчуває дефіцит кадрів, особливо інженерно-технічних працівників які володіють BIM-технологіями.Процес підготовки спеціалістів, що володіють новітніми технологіями,який би відповідав міжнародним стандартам освіти стає дуже актуальним.Важливішою складовою прогресу в навчальному процесі є включення, для студентів будівельних спеціальностей, вивчення програмного продукту REVIT.

В Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетока було відкрито першу в Україні BIM – лабораторію, яка облаштована найсучаснішим обладнанням. Студенти мають змогу вивчати програмний продукт REVIT. Наш університет співпрацює з Громадською Спілкою «БІЛДІТ ЮКРЕЙН», яка бере активну участь у навчальному процесі.

На базі нашого навчального закладу восени 2019 року були проведені Всеукраїнські студентські перегони «VDCROASTING», в яких взяли участь найкращі студенти країни, обізнані з BIM-технологіями.

Представники Громадської Спілки «БІЛДІТ ЮКРЕЙН» знайомлять студентів з найновішими розробками в сфері будівництва і використання BIM-технологій в сучасній будівельній галузі країни і світу, проводячи лекції і практичні заняття в Центрі трансферу технологій «Мегаполіс», який відкрито в університеті. Завдяки цій співпраці велика кількість наших студентів мають можливість працювати в цій організації. Крім того ми регулярно працюємо з Громадською Спілкою «БІЛДІТ ЮКРЕЙН» по госпдоговірним темам, притягаючи студентів до цієї роботи. Це стає найкращою можливістю використання набутих ними теоретичних знань з BIM-технологій в практичній діяльності, приймаючи участь у проектуванні реальних соціальних об’єктів.

Використання різноманітних сучасних технологій викладання необхідно і актуально для підготовки інженерів, компетентних в роботі з інтелектуальними інтерактивними графічними інформаційними технологіями та системами автоматизованого проектування, що, в свою чергу, значно підвищує рівень попиту на випускників університету на ринку праці.

SECTION 7.
ENGINEERING IN AGRICULTURAL PRODUCTION

7.1 Investigation of machine parameters for destruction of homogeneous frozen environments

National university of water and environmental engineering

Winter period in the road maintenance organizations is the most difficult and responsible. Road conditions at this period of year are often the cause of accidents. Phenomena that include complicate or make impossible to travel on roads include blizzards, snow and puts icing coatings. Last one causes a significant reduction in traffic speed and movement and sometimes stops altogether. Due to the deterioration of toll roads in winter, Ukraine's economy has significant social and economic losses.

Existing technologies remove ice formations formed on the surface of the road surface, including the use of salt in the cities that are not effective enough, as a result corrosion of metal surfaces, adversely affects the road surface, the tires of cars, falling into the ground, roadside vegetation, pollute waste water and practically it is not used in the thickness of ice formations than 30 mm and temperatures below -10^{0}C.

It is therefore recommended to use working bodies that would ensure clean coating without damaging it and without pollution. Until the development of structures in the majority, was aimed at reducing traction resistance and less - on the achievement of quality indicators and quality cleaning coatings. For existing technologies necessary quality cleaning coating is achieved using a combination of several types of treatment, which results in additional energy. In addition, existing ice breaking working bodies do not provide contactless detachment ice formations from the surface coating, which leads to damage [175].

In this regard, the urgent task at nowadays is to develop effective working bodies to remove ice formations that would allow consideration based on various conditions of formation and temperature conditions of the natural environment to

improve quality cleaning coverage with minimal power consumption, without polluting the environment without damaging pavement.

Features and efficient operation of city streets and roads are largely dependent on the technical state of structural elements.

Among them are the basic building block pavement, technical condition which affects almost all indicators of operation and functioning of city streets and roads. This is due to the dominance of technical indicators pavement in assessing the overall operation and functioning of city streets and roads [176].

In addition to technical performance status, quality of operation of city streets and roads is also defined operational, hygienic, aesthetic, social, economic and other factors that also deteriorate over time and across operating conditions.

The most difficult period of operation of city streets and roads are winter maintenance, which requires large material costs and labor costs.

Clean technology urban areas involves removing snow immediately after loss. But because of the complexity of the organization, deviations from technical recommendations as well as the limited number of available machines Snow surgery is often done poorly and late. Thus, with increasing temperature above 0°C and subsequent sharp cold snow turns to ice formation.

Compaction of snow accompanied by a sharp increase in its strength, durability largest snow becomes compacted during the transition from state to ice formation. Thus, the strength of ice formations at shift exceeds the same indicator for compacted snow almost three times. The second trend is spilling over the surface of icy road surface friction materials which have improved adhesion to the road. The disadvantage is the low cost and lack of effectiveness as friction materials are off the wheels of cars and wind blown off the road immediately after the spill.

The third area is the destruction of ice formations on the surface of the cover and remove it outside the sidelines. Destruction efficiency increases with increasing thickness of ice decreasing temperature, increasing the degree of water repellency air. It is used for clearing snow and ice removal and destruction of structures.

Current trends remove ice formations of pavement have several disadvantages that lead to deterioration in the quality of pavement and limiting the application range. So important is the task of developing a new technical solution to remove ice formations of pavement and sidewalks.

Summarizing the above mentioned, deep analysis are given that the city is the most promising in terms of material costs, environmental pollution and efficiency is a mechanical way to remove ice formations of pavement and sidewalks.

Effecting on ice with dynamic loading of high amplitude but low frequency results in his instantaneous fragile destruction under the action of tension waves. The prerequisite of tension waves formation and their distribution in the environment under dynamic loadings, the influence on the destruction of material are considered in the monographs of the well-known scientists: N.A. Alekseev, D.D. Barkan, L.I. Baron, V.L. Baladinsky, S.S. Grigoryan and many others. The researches of physical and mechanical properties of ice and its destruction peculiarities have been performed by G.L.Karaban, A.N. Zelenin, V.N. Denisov, L.S. Mnukhin, V.V. Bogorodsky, V.V. Laurel, K.F. Voytkovsky, etc. In the course of research it has been elucidated that the ice formed on road pavements of streets and sidewalks has an obviously expressed chaotic texture formation and the rate of its freezing up with road pavement depends on a series of factors, primarily on the state of road pavement surface [177].

In this connection it is an urgent task nowadays to develop highly efficient working bodies for ice removal, which would allow to improve the quality indices of road pavement cleaning without its damage grounding on the consideration of different formation terms.

The efficiency of an icebreaker operation substantially depends on placement of indents in the technological module, which form a system of destroying cracks on the ice surface. Therefore, while choosing the rational placement of contiguous destructive elements on a working body, it is possible to reduce the energy capacity of destruction process, to increase the area of destruction and decrease the sizes of fractions of the split off ice, to provide necessary cleaning quality of road pavement.

Consequently, in order to provide high-quality operation of working equipment, it is necessary to create such a strained state in an ice array, so that to promote the distribution of destructive cracks down to the surface of road pavement.

Thus, the distance between the contiguous destructive elements must provide the mutual overlapping of the fields of their strained states, that will enable to ensure the complete destruction of ice formations layer on the pavement.

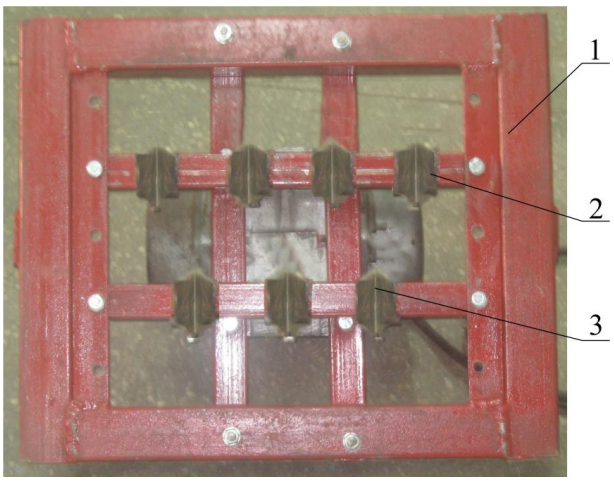
As an object of the research there has been used a hydroimpulsive working body, the shocking plate of which is equipped with indents having appropriate geometrical parameters together with the brush for clearing from ice formation remains. Workings indents are accommodated in two parallel rows, in a chess order, with the mutual overlapping of the destruction area (fig. 57), perpendicular to the direction of icebreaker motion with the united front of cracks development.

The volume of formations amounted to 0,01…0,10 m^3 per one m^2 of pavement. The ambient temperature was -2…-25 ^{0}C, the density of ice formations – $0,7…0,95 \cdot 10^3$ kg/m^3, the presence of different inclusions aws equal to 2…7%.

It should be noted that with the implementation of the working body into the working environment with opened lateral walls, the blasted area is increased due to the appearance of cracks which go out on a lateral surface. In this case, the optimum value of shoulder of splitting off, the size of which can be obtained under the condition of energy minimum necessary for the formation of splitting off cracks, serves as a determinative of the process.

Consequently, if to dispose an instrument nearby earlier created small hole of splitting off before a subsequent blow, the latter will play the role of an additional free surface, though of limited size, however the breakage is performed jointly.

The purpose of the experiment is the verification of analytical dependences and findings for the substantiation of parameters of splitting off step and placing of indents for the destruction of an ice layer. The tests have been carried out on the laboratory installation presented in figures 57.



Figures 57. Laboratory installation for the research of wedge-shaped destructive elements placing on the shocking plate: 1 – a frame of working body, 2 – the indents of the first row, 3 – the indents of the second row.

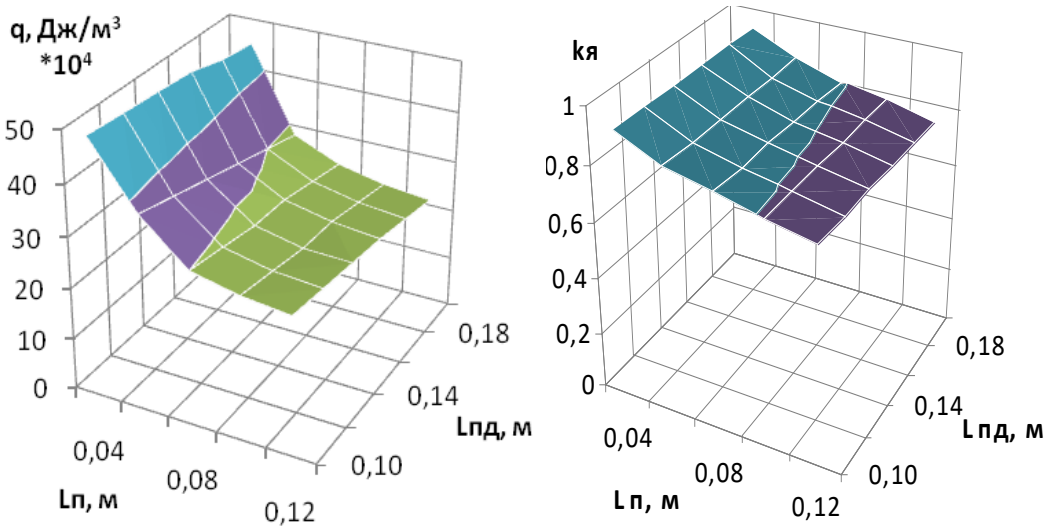
After conducting the experimental researches on a laboratory stand, while pursuing the purpose of detecting the influence character of wedge-shaped destructive elements placing order on the peculiarities of the process: of operation *A*, of energy capacity q_A of destruction process and index of cleaning quality of road pavement – the data have been obtained, by which graphic dependences have been designed, the analysis of which allowed to define the basic particularities of wedge-shaped destructive elements interaction with the environment being destroyed.

As a result of experimental researches the dependences for placing of wedge-shaped destructive elements on the working body have been obtained, while removing ice formations from the surface of road pavement, at the angle of an indent sharpening 2α=27°. As a result of PFE was obtained regression equation. Introducing the regression equation in natural scale. After his decode get:

$$q = 65{,}36 - 18{,}67 \cdot L_П - 1{,}34 \cdot L_{ПД} - 5{,}42 \cdot H + 2{,}07 \cdot L_П \cdot L_{ПД} - \\ - 4{,}74 \cdot L_П \cdot H + 1{,}29 \cdot L_{ПД} \cdot H + 2{,}13 \cdot L_П^2 - 0{,}86 \cdot L_{ПД}^2 - 1{,}12 \cdot H^2, \quad (1)$$

$$k_Я = 1{,}021 - 0{,}029 \cdot L_П + 0{,}0003 \cdot L_{ПД} - 0{,}0011 \cdot H + 0{,}0015 \cdot L_П \cdot L_{ПД} - \\ + 0{,}0011 \cdot L_П \cdot H + 0{,}0002 \cdot L_{ПД} \cdot H - 0{,}0012 \cdot L_П^2 + 0{,}0004 \cdot L_{ПД}^2 - 0{,}0002 \cdot H^2, \quad (2)$$

The dependence of energy capacity process indices and quality of road pavement cleaning on the distance between the nearby wedge-shaped destructive elements at different thickness of ice layer *H* is resulted in figure 58.



Figures 58. Dependence of specific energy of destruction and the quality of road pavement cleaning on the distance between contiguous destructive elements, at $H = 0{,}06$ m

In the course of experimental researches it has been determined that the energy capacity of the process diminishes proportionally with the growth of the distance between destructive elements, and the quality of road pavement cleaning diminishes with the increase of the distance between contiguous destructive elements. The performed experimental researches enable to select the rational parameters of wedge-shaped destructive elements placement on a working body for the removal of ice formations, which will satisfy minimum energy capacity at the set index of the quality of road pavement cleaning.

SECTION 8.
INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

8.1 Decision systems in the design of electrical machines

Modern decision-making systems are constantly evolving. Today, it is difficult to imagine any branch of industrial production without the use of artificial intelligence systems capable of making decisions. On the one hand, it is cost-effective, and on the other hand, significantly improves the quality of process management. The process of designing electric machines is no exception. The use of a decision-making system to calculate the heat and mass transfer processes of electric motors makes it possible to reduce the complexity of this process.

Recently, researchers from different countries are paying more and more attention to the development and use of active decision-making systems in various branches of industrial production. According to the traditional classification, decision-making systems are divided into static and dynamic. But today in foreign periodicals a class of active decision-making systems is distinguished [178-182]. Active decision-making systems differ from dynamic decision-making systems by the participation of the human factor in the control loop. Thus, if in a dynamic decision-making system the share of the human operator in the decision-making process may be 30 to 50%, then in active decision-making systems this percentage of participation is reduced to a minimum of 5 to 10% [180,181].

Obviously, this approach to the organization of an active decision-making system and its implementation in the management process must take into account a number of factors that contribute to the qualitative improvement of its functioning [181-184]:

- the presence of close information interaction of the management system with the environment with the use of specially organized information communication channels;

- fundamental openness of the system in order to increase its intelligence and improve its behavior;
- availability of mechanisms for forecasting changes in the environment and system behavior;
- construction of a control system based on a multilevel hierarchical structure that satisfies the following rule: as the rank of the hierarchy increases, the intelligence of the system increases and the requirements for its accuracy decrease and vice versa;
- preservation of functioning in case of partial severance of ties or loss of control influences from the higher levels of the hierarchy of the control system.

In other words, an active decision-making system should be easily rebuilt (adapted) to external changes,

for which it requires the presence of the following subordinate levels [182-184]:

- training;
- self-organization (restructuring);
- forecast (forecast) of events (situations);
- work with event databases (databases) (DB) and knowledge (DB);
- decision making;
- planning of operations on realization of the formed decision;
- adaptations;
- performing.

In this case, the first five of these form the strategic level of an active decision-making system, the rest perform its tactical functions. The functional diagram of the active decision-making system is shown in Fig. 59.

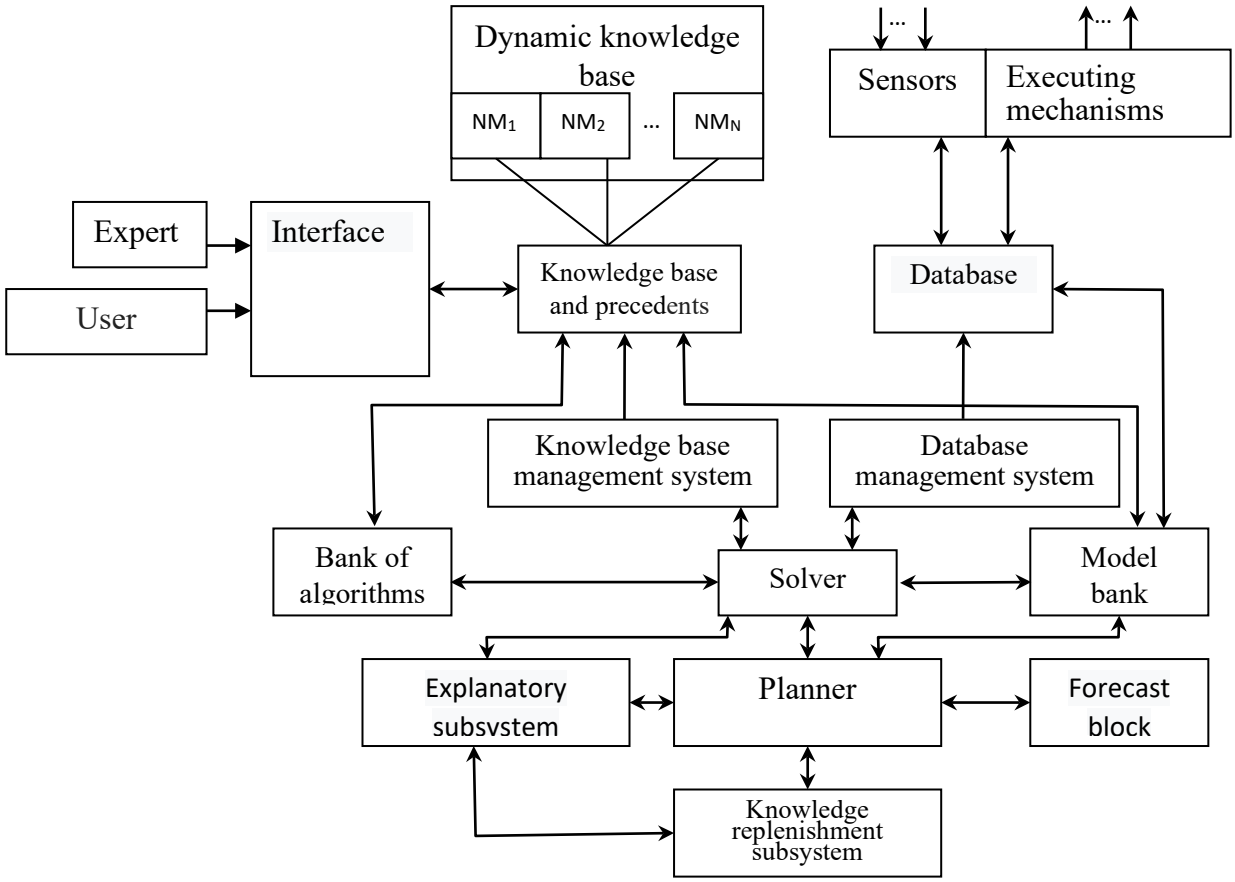


Figure 59. The process of interaction of subsystems of the active decision-making system.

The solver (logical inference machine) of the active decision-making system is complex, because along with the known methods and knowledge (predicate logic, semantic networks, frames, product inference) in the active decision-making system can be used methods based on soft calculations (fuzzy logic (NL), genetic algorithms (GA), neural networks (NM), cognitive networks (CM), probabilistic derivation (IU) (heuristics). horytmiv models and increased mobility computing process solver active decision-making system and, consequently, the quality pryymayemyh decisions. With a powerful solver, an active decision-making system adapts relatively easily to an external dynamic model, allowing you to set and solve direct, inverse, and mixed tasks.

An active decision-making system allows real-time modeling, forecasting and evaluation of the efficiency of the electric motor.

The knowledge bases of the active decision-making system contain declarative and procedural knowledge. Procedural bases include conceptual knowledge bases (BAS): concepts in the form of formulas, dependencies, tables, procedures, etc. Declarative are knowledge bases (BEZ), which are descriptive (qualitative) in nature. In this case, BKZ and BEZ closely interact with each other, constantly checking for inconsistencies (redundancy) of knowledge. In the process of interaction with the object and its own heterogeneous database, an active decision-making system provides training and self-learning. Facts and knowledge are checked in real-time scanning mode. The new situation "sets" a precedent and is stored in the database. Elements of traditional modeling tools in an active decision-making system carry out:

- mathematical modeling;
- preservation of a priori and a posteriori data in the database of the active decision-making system (ascending information and research results).

Additional "flexibility" and mobility of the database in the active decision-making system is achieved by combining models of artificial intelligence and mathematical model (MM) of the studied engine. For this purpose in MM of the engine it is necessary to consider:

- requirements for MM;
- combination of deterministic and stochastic models;
- mechanisms of work with MM;
- training and formalization in an active decision-making system with verification of its adequacy.

The above allows you to increase the accuracy, reliability and correct operation of an active decision-making system.

In the process of monitoring and managing the operation of the engine, an active decision-making system is able to fully control the parameters, analyze (model) the current situation with a forecast of its development (information from sensors).

One of the classic tasks of monitoring engine parameters is a disorder (determining the trend of control data). In the general case, trend analysis allows you to control the time series formed by a sequence of values of controlled indicators, and

determine the presence of a trend: changes (disorders) in this series. The value of trend analysis in modern active decision-making systems is very high, as it allows to identify defects at an early stage of their development (even if the values of controlled parameters are within acceptable limits).

Denote by $x(t)$, $t = 1,2, \ldots, N$, sequence of discrete observations

$$x(t) = f(t) + \zeta(t) \tag{1}$$

on the background of obstacles $\zeta(t)$ with zero mean and variance σ^2. We will use a set of polynomials as trend models

$$f_j(t) = \sum_{s=0}^{j-1} c_{sj} t^s, \ (j = 1,2,\ldots,n), \tag{2}$$

with unknown coefficients c_{sj}, where j - model type index.

In the current assessment, model (2) is convenient to present in the form

$$f_j(t + \Delta t) = \sum_{s=0}^{j-1} f_j^{(s)}(t) \cdot \frac{\Delta t^s}{s!}, \ (j = 1,2,\ldots,n), \tag{3}$$

where Δt - time counted from the current time t; $f_j^{(s)}(t)$ - s-th derivative function $f_j(t)$. We will determine the value of the function $f_j(t)$ on the sliding $x(t-N+1), x(t-N+2), \ldots, x(t)$ voters of observations of constant volume N, which allows you to track changes in the coefficients c_{sj} models (2). Regular data correspond to the presence of a corresponding pattern.

Violation of this pattern occurs when changing the coefficients c_{sj} in (2). The task is to build a neural boundary detector (dynamic knowledge base of the active decision-making system), which allows as a result of processing observations $x(t)$ to establish the facts of violations of the law and the time of occurrence of these violations (trends).

BZ and precedents of the active decision-making system can store the following information:

- assessment of the randomness of the discrepancy between the given mathematical expectations and the sample mean (parametric methods that require

knowledge of a priori information about the object, usually the standard deviation of the parameter under study);

- assessment of the affiliation of two samples of one general population (non-parametric methods that do not require a priori information, classical criteria: Halda-Abbe and its modifications [185]);

- trend analysis of controlled parameters based on recurrent neural networks. Description of the classic criteria for trend detection: Halda-Abbe; Neumann-Pearson; modified r-criterion; integral *S*-criterion can be found, for example, in [8]. A comparative evaluation of the effectiveness of trend analysis of neuro-boundary and classical criteria was performed.

A comparative study of the criteria was conducted on the basis of simulation, which allowed to check a wide range of changes, measurement errors and the intensity of the trend. The value of the controlled parameter is equal to the sum of the deterministic basis and the random normally distributed obstacle with variance ζ. The deterministic component became on the interval $[0, t_0]$, and then changes linearly with the pace $a = tg(\alpha)$ (1/s), (where a - trend intensity). During the simulation, the value a of a varied in the range $[0{,}01;1]$; and value ζ in the range $[0{,}001;1]$. In the simulation, a selective variance calculated on the stationary interval $[0, t_0]$ was used to adjust the MM.

Starting from the moment t_0, the values of the criteria were calculated and the presence of the trend was checked. The effectiveness of the criteria was assessed by the time of operation of the criteria from the beginning of the trend τ_0 by the time that corresponds to the detection of the trend $\tau_{ЗАП}$.

To solve this problem, it is necessary to implement on the basis of recurrent NM two series-connected filters - low frequency (LF) and high frequency (HF).

The woofer filter "passes" a constant component $f_j(t)$ and "cuts off" the obstacle $\zeta(t)$, and the RF filter "passes" $f_j^{(s)}(t)$ and "cuts" $f_j(t)$ and obstacle $\zeta(t)$. The implementation of woofer and RF filters based on recurrent NM is shown in Fig. 60

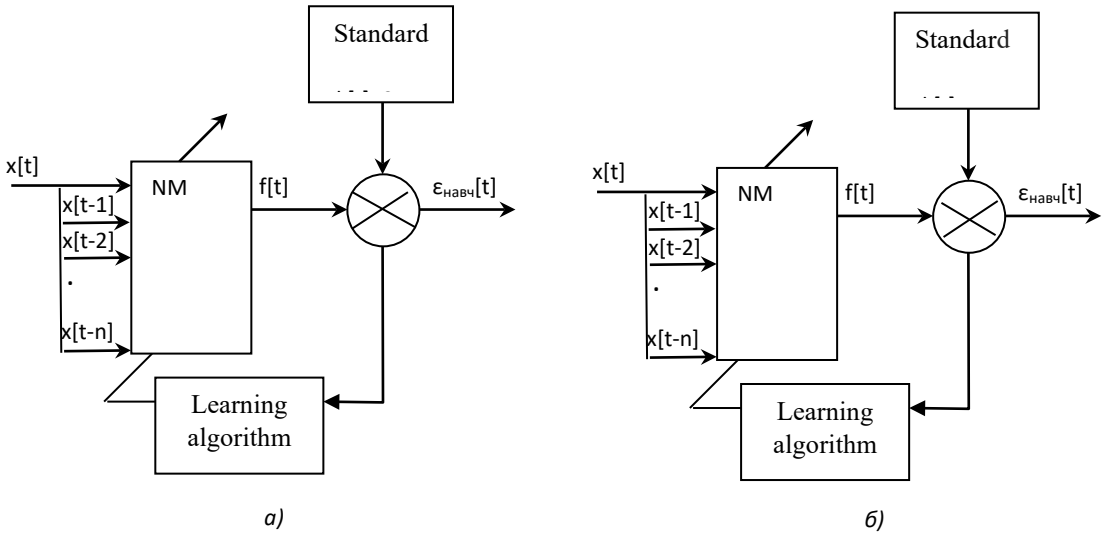


Figure 60. LF (a) and HF (b) - filters based on recurrent NM.

It is known from NM theory [186-188] that static NM architectures are able to approximate multidimensional, nonlinear static functions. Identification of dynamic systems, on the other hand, requires models with appropriate memory elements. Therefore, static full-size NMs must expand with dynamic structures. One of the possibilities of dynamic expansion is the addition of external filters that implement a dynamic model offline. Such NM with external dynamics include [186-188]:

- nonlinear models with feedback from the output;

- nonlinear models with finite impulse response; - nonlinear orthogonal models of basis functions. These options differ in that they are implemented by appropriate external filters. The structure of the external filter is shown in Figure 61.

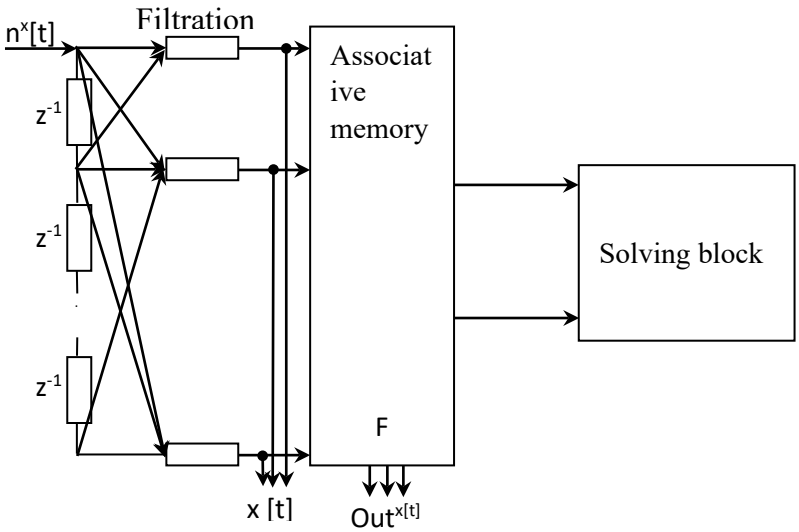


Figure 61. Scheme of the external filter.

During pre-processing it is considered to function $f(t)$ and $\zeta(t)$ not correlated. Required to be vector $Out^x(t)$ output values of the filter $Out_l^x(t)$, $l=1,N$, representing a reaction to an external action, approaching the desired function from the useful signal:

$$Out^x(t) \approx Ff(t), \tag{4}$$

where $F=(F_l)$ - some vector operator describing the mapping of many useful signals into the output signals of the filter [189].

As a measure of approximation $Out^x(t)$ to $Ff(t)$ the general case, you can choose the functionality:

$$J = J\{\varphi[Ff(t) - Out^x(t)]\}, \tag{5}$$

where $\varphi[\bullet]$ - some measure of vector function.

In the simplest case [189] (Fig. 3) the input signal is fed to a set of series-connected functional elements having a delay z^{-1} (in synapses). Their input values are represented as signals $In^x(t-kz^{-1})$, k=1,N with scales w_{jk}, forming a vector of estimates of useful signals $(x_j(t))$, on the basis of which by means of a network realizing a matrix of operators (F_{lj}), the vector of output signals is formed $(Out_l^x(t))$:

$$Out_l^x(t) = F_{lj}\left[\sum_k W_{jk} In^x\left(t-kz^{-1}\right)\right] \tag{6}$$

where l=1,N.

The task of filtering is to reproduce the useful signal against the background of noise and perform the desired conversion.

To solve this problem, it is necessary to minimize the standard deviation of the estimate of the useful signal $x_j(t)$ than expected j - useful signal $f_j(t)$, characterizing the corresponding useful result of the NM filter, to find:

$$\min_{W_{jk}} M\left\{\sum_j\left[f_j(t) - \sum_k W_{jk} In^x\left(t-kz^{-1}\right)\right]^2\right\}, \tag{7}$$

where M - mathematical expectation.

According to this criterion, classical algorithms of filter adaptation can be implemented using a priori information about the useful signal and noise [186-191].

Based on the above, to solve this problem as a static NM that implements the woofer filter, a perceptron was chosen; for the HF filter - NM RBF (radial-basis function).

A signal having N samples $x = [x_1, ..., x_N]$, can be approximated by NM with G neurons in the hidden layer by the following equations:

for the perceptron

$$f(t) = \sum_{i=0}^{G} W_i^{(0)} q\left(\overline{W}_i^{(h)T} \bar{t}\right), \tag{8}$$

for RBF

$$f(t) = \sum_{i=0}^{G} W_i^{(0)} R_i q\left(\bar{t}, \overline{W}_i^{(h)}\right), \tag{9}$$

where $q[\bullet]$ - different types of basis functions of a multilayer perceptron with a scalar argument (the original N-dimensional approximation problem by weight superposition decomposes into simple scalar basis functions; compression of the N-dimensional input space to a 1-dimensional input $f(\bullet)$ carried out by a scalar product $\overline{W}_i^{(h)T} \bar{t}$); $R(\bullet)$ - weighted basic functions of RBF (each basic function is realized by a separate neuron).

The decisive rule for the NM ensemble, which implements LF and HF filters, is as follows:

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^{N} \left[f_{j+1}(t) - f_j(t)\right]^2}{t} \geq C, \tag{10}$$

where the numerator of the expression (10) means adding the sum of the deviations of the parameters (C - the threshold of operation (sensitivity) of the controlled NM; when (normal operation), when (trend)).

In the process of mathematical modeling on the ensemble NM (perceptron - RBF), which implements recurrent filters (dynamic knowledge base of the active decision-making system), in comparison with the classical criteria for detecting the

trend of engine parameters, the following results were obtained (Fig. 62) $\frac{3\sigma}{a}$ for 5% significance level, which corresponds to the probability of making the right decision P=0.95.

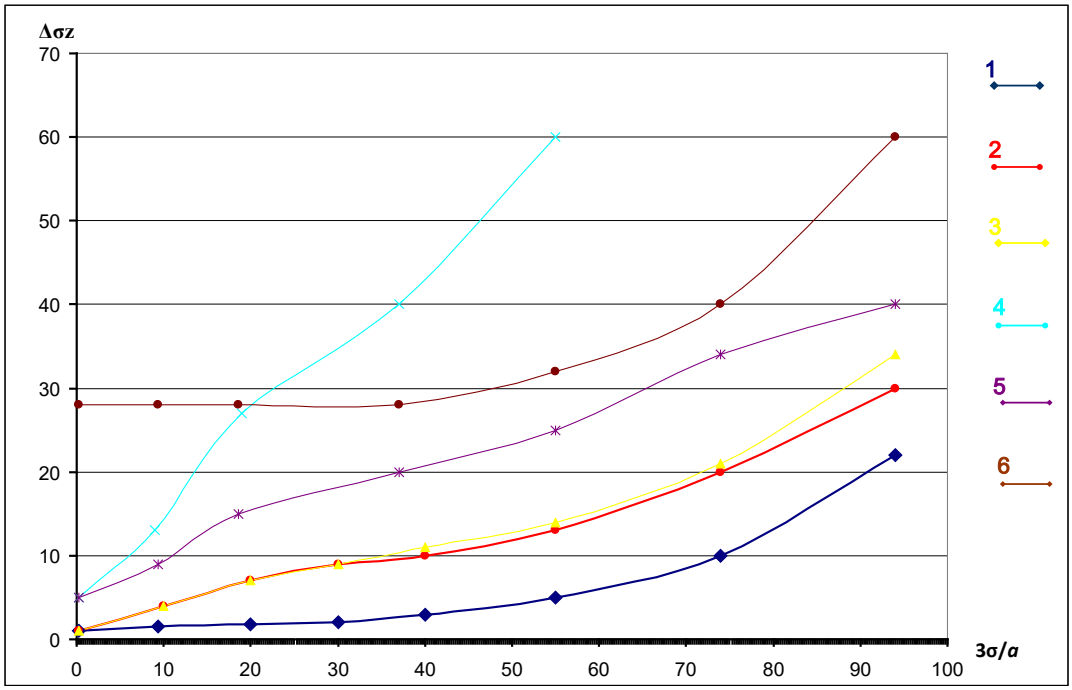


Figure 62 - Characteristics of trend criteria for 5% significance level in dimensionless coordinates.

In Figure 62, the numbers indicate: 1 - neural network criterion; 2 - s-criterion; 3 - S'-criterion; 4 - r'-Halda-Abbe test; 5 - modified r'-criterion; 6 - u-criterion.

Changing in the sample for training (50 data): σ_y - standard deviation of measurement error; α - trend angle; τ_0 - the moment of the trend; it was found that neural network criteria are more effective than classical (have better sensitivity) recognition (appearance) of the moment of disorder (trend) of the controlled parameters of the electric motor, even in conditions of strong interference (table 20).

Table 20.

Comparative assessment of trend definition

Criteria	Measured sample	Trend time (measurement)	Recognition quality (%)	The quality of trend recognition when changing		
				σ_y (%)	α (%)	τ_0 (sensitivity)
Classic	50	7-8	95	70-95	60-95	10-25 (measurements)
Neural networks	50	4-5	100	95-100	95-100	3-5 (measurements)

At present, when solving complex complex tasks of information monitoring and operation of engines, complex ensemble NM can be successfully used, which, in comparison with conventional fully-connected NM, can provide additional advantages in practice: decomposition of a complex dynamic object (its systems) into a number simple objects (subsystems); On easier to adapt to changing external conditions (in the class of adaptive, self-tuning systems); NA structure can be optimized for a specific task; the speed and accuracy of the NA are significantly higher than the classic fully-connected NM;

HA provide a better approximation of piecewise continuous functions.

The above advantages of NA over conventional fully-connected NM give the possibility of their further application in solving problems of information monitoring, operation management and design of electric motors.

8.2 Applying of hexagonal raster in image formation

Introduction

Today researchers pay attention to the advantages of the hexagonal raster by formation and representation of an image more often [192-193]. These benefits allow to increase the realism of graphical images forming in many cases [193]. Advantages stem from hexagon`s ability to cover screen surface without gaps and overlays and

also hexagon`s geometrical specialties, like reflection symmetry and coherence of hexagonal raster.

Scope of application of hexagonal raster in visualisation systems

One of the first digital cameras with the matrix, that was made using hexagonal pixels, was released by Fuji Photo Film in 1999 [4]. This matrix was called Super CCD Honeycomb and created in order to expand the total area of photodiodes on the matrix, that allows to increase sensitivity and enlarge the range of photosensors. Pixels in Fuji`s photosensor were rectangular-shaped and were placed next to each other [194]. Pixels in Super CCD Honeycomb are hexagonal-shaped. Due to such topology the area of the matrix is used with higher efficiency, there`s more light captured for each surface unit and that`s why dynamic range is reflected wider. Sensors with hexagonal elements give better results on horizontal and vertical scanning, which a human eye is most sensitive to.

Paired photodiodes are also applied into Super CCD Honeycomb construction, they are located as double cells, that`s why matrix can operate with any particular light intensity [3]. First photodiode from a double cell is configured for high photosensitivity, the other one is for lower light, it allows to take pictures in any light condition (pic. 63).

Microlenses, that are made as a hexagonal array, are used in the manufacture of optical gears. In particular, such arrays of the microlenses are applied in the Airyscan detector in the laser scanning microscope ZEISS LSM 800 [195].

The operation principle of Airyscan`s electric scheme is that a hexagonal array of microlenses is connected directly to the ends of the fibre bundles and captures falling light[4]. On the other end the fibre is in contact with the linear array, that functions as a detector.

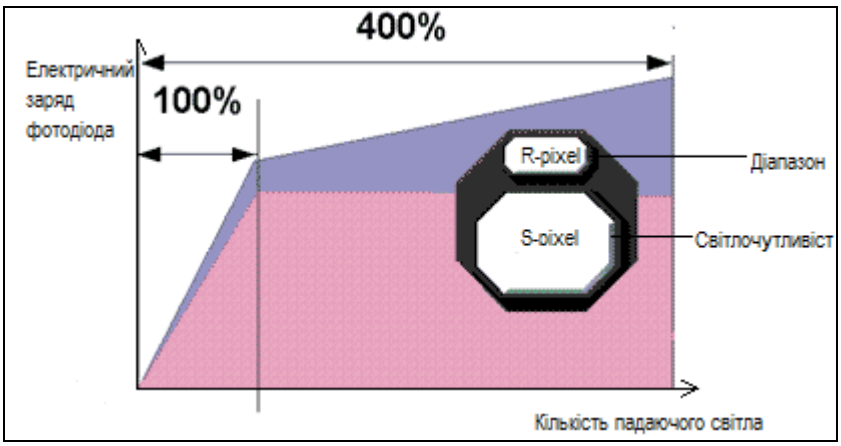
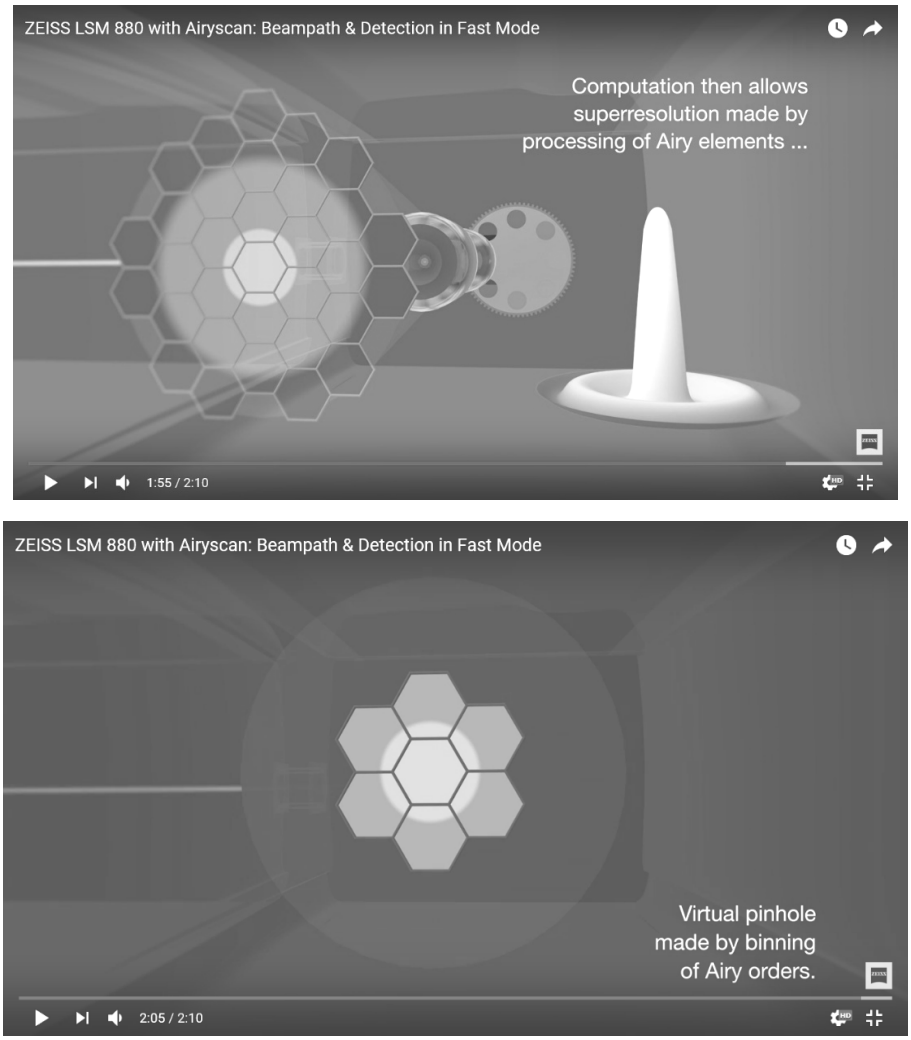


Рис. 63. Double hexagonal pixel

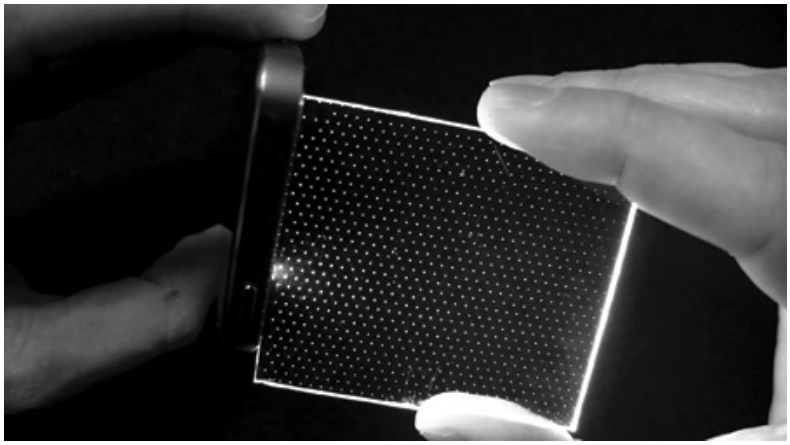
Thus, a picture is configurated with the help of optical scaling to Airy disc. Meanwhile, single element of the detector acts as a separate microaperture in the detector (Pic.64).



Pic. 64. Hexagonal array of microlenses of Airyscan detector

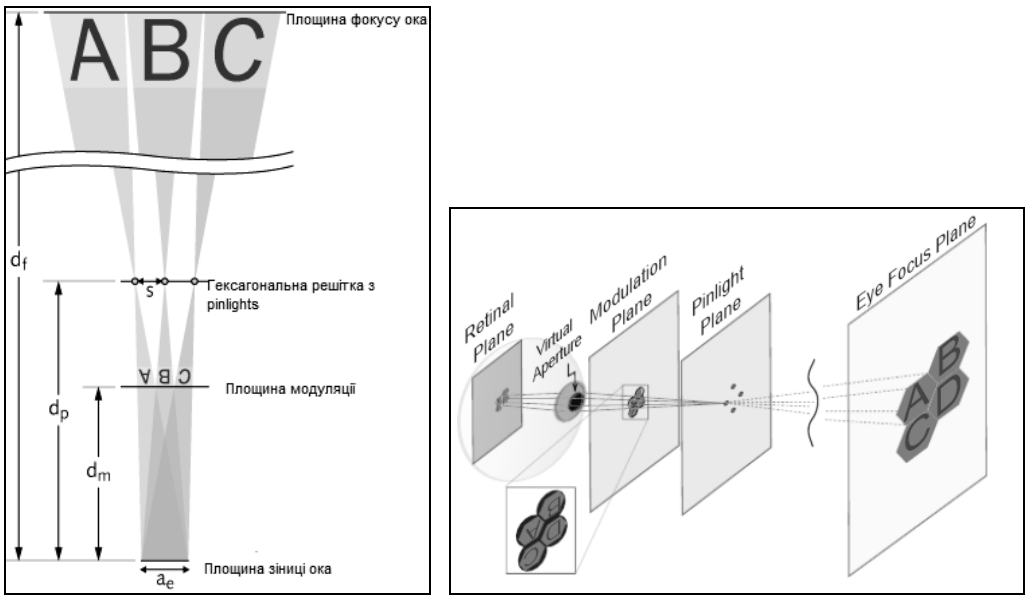
In VR glasses from Google (Google Glass) [196], each eye has its own ‘pinlight’ array, that consists of white light – highlighting cones of the transparent acryl layer and low deepening hexagonal grid cells. Hexagonal cells capture full inner light reflection and create so-called point light. The operation principle of them is the same as in camera obscura (Latin), that can capture an image without an objective [196].

Hexagonal array eliminates a need in focusing optics, except user`s pupil of the eye (pic.65).



Pic.65. Google Glass display

Light from hexagonal LCD grid with pinlights is being designed using spatial light moderator (SLM) in order to get full picture on the retina (Pic. 66).

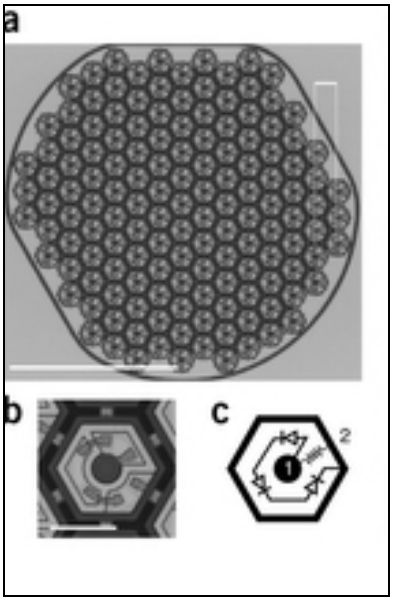


Pic. 66. Hexagonal array Pinlight

Hexagonal arrays are made separately for each eye and installed on the frame.

As a result glasses are light and suitable for constant wearing in Google Glass VR displays [196].

Photovoltaic prosthetics are used for prosthodontics of patients with retina degeneration, whose eyesight is lost because of progressive photoreceptors breakdown. Electrical stimulation and neurons implementation of retina provides an alternative way for delivery of visual information (pic. 67).



Pic. 67. Zoomed image of photovoltaic prosthetic module

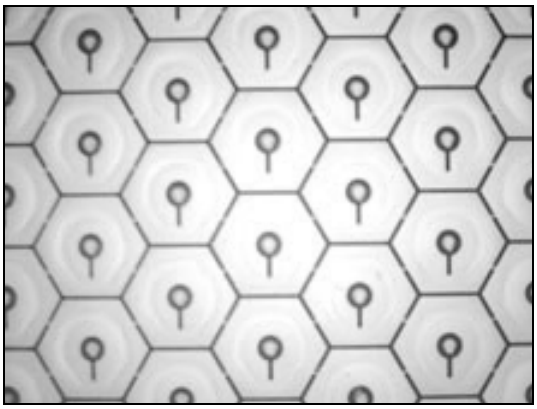
The module of the photovoltaic prosthetic consists of hexagonal pixels, that are 70 μm wide [197].

Easy implantation of these hexagonal wireless and modular arrays, combined with its high resolution, gives an opportunity to regenerate the eyesight of the patients, who have lost it because of the retina degeneration [197].

Creation of electronic devices, that form an image in reflected, but not in radiated light, originally, started in the `70s last century. Biggest advantages of such ways of image outputting are picture naturalness for a human`s eye, a wide angle of sight and a low energy consumption. Flexibility, strength and a small weight are also

innovative mechanical benefits of displays. Such displays and complex of its creating technologies are combined into the common name ‘E-paper’ [198].

E-paper display matrix contains hexagonal pixels (hexagonal-shaped cells) [198]. There is a tank with a black paint in the middle of each hexagonal pixel and this paint is spread through a thin channel all over the pixel (under the influence of voltage) (pic. 68).



Pic. 68. E-paper display matrix

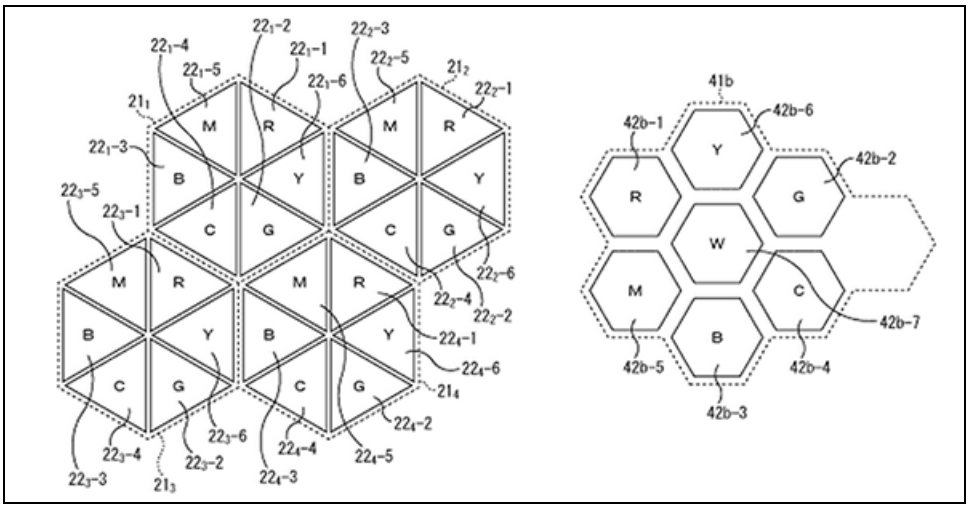
A thin aluminium layer functionates as a reflecting basis and a coal ink is used as a black paint. Aluminium is applied on a polymeric surface and covered with Indium Oxide and Tin Oxide, that`s how a transparent electrode is made. Under the voltage the ink is getting squeezed out and spread out because of electromechanical pressure. When voltage is turned off, the ink drains back into tank due to the curvature of the channel and physical shape of hexagonal pixels [198].

The pixels shape is 100 μm wide, it allows to make screens with the resolution up to 300 pixels/inch. This pixels size provides flexible screens creating .

Time transition between white and black colour of the pixel takes 1 millisecond, it is enough for playing a video. The background brightness depends on the amount of reflected light, the screen material in E-paper reflects 55% of any light, that falls onto it (for instance, a white paper reflects 85%) [198].

It is intended to turn white-black E-paper technology into full colour one. Hexagonal pixels, that are used in the white-black technology, is the most suitable solution, they can be separated and filled with red, green and blue colours.

SONY patented a technology of hexagonal pixels matrix development [199], where each pixel consists of a hexagonal elements set, that simulates its own colour (pic. 69).



Pic. 69. Variants of colour topology in hexagonal pixels SONY

Advantage of this technology is a combination of CMY and RGB filters, that considerably increases the characteristics of filter`s spectral sensitivity. This combination can improve colour representation in order to process the images successfully. CMY filter has higher capacity, than RGB filter, that's why it`s more 'saturated', regardless of the technical realisation [199].

The undeniable benefits of technology suggested by SONY is the image quality and portability of the devices with hexagonal matrix.

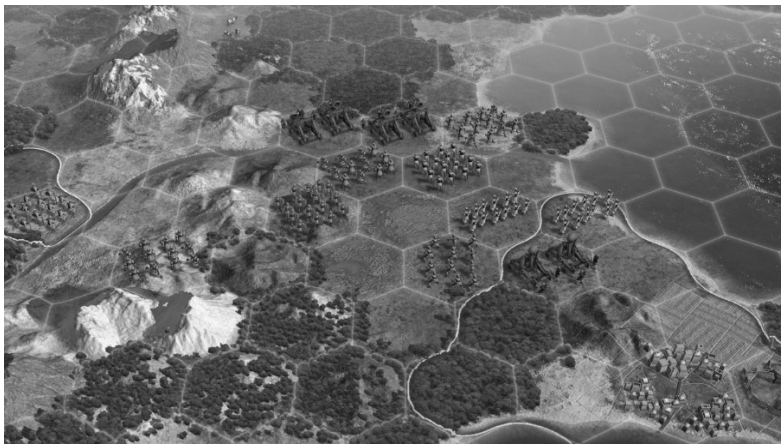
Implementation of hexagonal elements gains momentum in computer and tablet games.

The most famous and popular game for its time, Heroes of Might and Magic 3 used hexagonal topology of the playing map. The playing field was separated not

into squares, but into hexagons [200]. It gave an opportunity to move a character in 6 directions and increasing the quantity (2 more) of interacting field sites (pic. 70).

Pic.70. Game map - Heroes of Might and Magic 3

The well known game, Civilization has released its 5th version on the hexagonal map too [201]. This way it became impossible to move onto diagonals of a square, for there were no squares actually. Now the movement in all 6 directions is balanced by distance. A new landscape generator, that is based on the hexagonal map element, was used in the game too. It also added tactical challenges to the gameplay. Also hexagonal space is perceived better (pic. 71).



Pic. 71. Game field in Civilisation 5

The popular strategic game with nuanced graphics, Endless Legend is designed on the hexagonal map too [202]. It improved perception and gave an opportunity not

just to apply hexagons, but to use the areas, that are constructed out of the hexagon-shaped fields. This approach provided detail and bigger quantity of interactive combinations (2 more, comparing with square), what is connected with hexagonal raster.

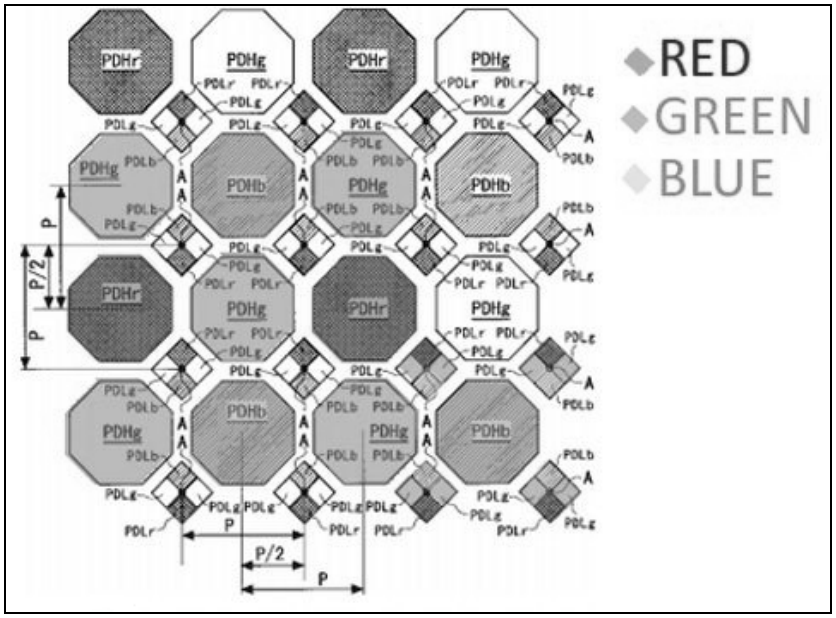
Today the great number of smartphone games in ‘strategy’ genre are constructed on the hexagonal game maps: UniWar – developer TBS Games, Catan – developer USM, Conquest! Medieval Realms – developer Slitherine, Eastern Front: Conflict-series – developer Joni Nuutinen.

Reflection symmetry inherent in the hexagonal raster and ability of equilateral hexagon to fill up the surface without any gaps and overlays allow to create the maps of small size, that suit to the screens of smartphones.

Samsung Company has developed a new pixel structure, that is used in new AMOLED technology, for its smartphones and tablets [203].

Implementation of the hexagonal and rhombus-shaped pixel structures allowed to develop 440 ppi screen resolution [203]

Nikon Company also goes this way, it has patented a cellular touchscreen with the subpixel in order to improve the dynamic range (pic. 72) [204].



Pic. 72. Nikon touchscreen with subpixel

Dynamic range improving is reached due to addition of 4 subpixels around the main pixel.

Conclusions

Given information demonstrates a wide spectre of use of hexagonal raster for image creating. It is believed, that screens, that are made on a hexagonal pixel basis, will be used in VR visualisation systems.

8.3 Intelligent implants in orthopedic surgery

Introduction

Intelligent implants can provide personalized medicine, optimize the care of individual patients, and improve results while reducing costs [205]. As diagnostic tools, smart implants can provide information that characterizes the environment inside the body that cannot be obtained in any other way. This information can provide objective quantitative data for adapting treatment, initiate changes in care, and detect adverse events at an early stage of treatment. Intelligent implants can also provide continuous monitoring of critical parameters for real-time processing. The integration of implants into daily clinical practice has the potential for large cost savings in the healthcare system by minimizing costly complications, shortening recovery time, and reducing lost working days after surgery and procedures. Implant-based intelligent research has also made an important contribution to understanding pathophysiology, healing, implant interfaces, and biomechanics. They also provide important knowledge for the development of next-generation implants and surgical techniques. Although the technology behind smart implants, including sounding, energy transfer, energy storage, and wireless, has advanced significantly in recent years, there are still significant technical challenges that must be overcome before implants become part of healthcare. In all applications, the intelligent implant - e is the vehicle that carries the diagnostic technology in the body. Due to the relatively large physical dimensions of many orthopedic implants, the bulk provides the

possibility of symbiosis between the implant and sensor technology. Physically large implants have the means to incorporate sensors, electronics, and telemetry into the implant itself or on its surface. Due to the possibility of integrating sounding technology in recent years, there have been many innovations and developments in the field of the use of intelligent orthopedic implants. Orthopedic implants are of sufficient size and volume to accommodate sensors, electronics, and antennas. This facilitates their modification into intelligent implants. Once placed in the body, radio frequency communication facilitates the collection of data from the implant.

Intelligent Implant Technology

Sensing based on strain gauges is the basis of intelligent implants. Strain gauges are thin sheets of foil deposited on the base. The sensor adheres directly to the implant surface. As the implant deforms, the strain gauge also deforms, and with this deformation, the resistance of the sensor changes, which is proportional to the voltage experienced by the implant. The generated signal is proportional to the voltage. Protecting strain gauges and their circuits from exposure to body fluids is a challenge. The strategy to resolve e of the problem is the modification of the implant so that strain gauges can be installed inside the implant. For many applications, the implant has cavities or recesses in which strain gauges can be installed and electronics placed. After placing the sensors and electronics in the cavity, the lid is sealed with a laser in order to seal the cavity. Strain gauges inside the implant have lead wires or antennas for data transmission.

Early implants used lead wires that connected directly from the instrument implant to an external data logger. The obvious limitations of the lead wires have big drawbacks, this is the possibility of infection, limited patient mobility, etc. Although such technologies are not good for clinical applications, they, however, provide an inexpensive and high-performance technology for preclinical studies. To go beyond the limitations of wired systems, the second generation of implants use telemetry transmitters that are powered by batteries. Battery-powered systems provide direct power to implantable electronics and do not have the disadvantages of wired

technology. Battery-powered systems are only limited by their large size (to accommodate the main part of the battery) and the end-of-life of the battery itself. Due to the limited battery life, smart implants are also poorly functional, with the exception of preclinical studies.

How such technologies have evolved over several decades can be seen on hip prostheses, from wired electronics to wireless systems. Inductively powered, intelligent, intelligent implant systems have been developed. These systems are based on the transfer of electromagnetic energy between a source outside the patient and a receiver integrated into the implant. Electromagnetic energy is transmitted by inductive coupling through radiofrequency fields. Implanted systems do not have batteries, but usually contain energy storage elements that feed the circuit after inductive energy transfer. Since the earliest inductive intelligent implant systems were developed back in the 1960s and 1970s, these systems were generally complex and cumbersome, mainly due to the size of the electrical components available at that time. Several printed circuit boards were needed to interface the sensors with signal conditioning and data electronics. Because of their complexity, these systems had low reliability and a high failure rate. With the development of electronic technology, telemetry systems have become more compact and reliable, which has allowed intelligent implant technology to become more viable for clinical applications over the past two decades. Typical intelligent implants include strain gauges, a power coil for inductive coupling, an antenna for transmitting data, signal conditioning circuits, and a telemetry system. External readers generate a radio frequency signal that is transmitted through an external antenna to the implantable system. Individual implants are pre-calibrated by applying a known parameter (e.g., force or pressure) to the implant. To calibrate the implant, appropriate strain signals are used. The calibration data of each implant is used to convert the transmitted strain into a signal representing the measured value. Orthopedic implants are mainly used to measure physical parameters, including pressure, strength, tension, displacement, and temperature. The measurement of physical parameters is achieved through the integration of applied technology with the implant. Intelligent prosthetic implants

have been used for knee arthroplasty, hip arthroplasty, vertebroplasty of the spine, and other applications.

Knee arthroplasty

Osteoarthritis of the knee joint is one of the most common pathologies of the musculoskeletal system worldwide. For patients who are not helped by conservative therapy, knee arthroplasty is a good standard of treatment [206]. By 2030, demand for primary knee replacement endoprosthesis is projected to grow to four million procedures in the United States. During arthroplasty and the knee, the distal femur and proximal tibia, and often the patella, are resected. The distal femur and the proximal tibia are replaced by metal components, and an insert of extra high molecular weight polyethylene is attached to the tibial component, on which the femoral component is articulated. The extra high molecular weight polyethylene insert adheres to the posterior patella to articulate the patellofemoral joint.

Although knee arthroplasty is a common procedure with a low complication rate, postoperative joint biomechanics can affect a range of motion, implant survival, and long-term results. These factors largely depend on the surgical technique and implant design. Feedback indicating the strength, pressure, displacement or stress on the implant intraoperatively and postoperatively can be used to optimize the implant design, choice of implant and surgical technique, all of which affect the patient's results. Thus, smart knee implants play an important role in understanding the biomechanics of the knee joint. Knee forces are very dynamic and depend on body weight, external loads, muscle activity, and kinematics of the joints. The magnitude of these forces dictates the rate of wear of the implants and the survival of the components of the implants. Evaluation of strength through the tibial and patella-femoral joints remains a problem due to complex and excessive muscle contributions. Intelligent implants have been used to measure the strength of the tibiofemoral joint for patients undergoing knee arthroplasty.

First-generation implants integrated strain gauge strain gauges into the tibial tray. The barrel of these components was hollowed out to accommodate signal

conditioners, microprocessors, and telemetry. The second-generation design was capable of measuring multiaxial forces using six or twelve strain gauges attached to the distal tibial trunk.

According to the implants of the knee joint, the peak strength when walking after arthroplasty is two and a half times the body weight and concentrated in the middle of the tibial tray. Walking on a treadmill reduces the strength of the knee relative to the hard floor while increasing walking speed increases strength. Jogging leads to a fourfold increase in strength. Strength in the knee is 20% higher when walking in shoes than without shoes. During climbing stairs, the forces increase threefold from 30 ° to 50 ° of knee bending. Strength through the knee can exceed fivefold values when the muscles work during a loss of balance. During all activities, shear forces are small compared with axial loads.

Although significant research has been done using intelligent implants to better characterize the tibiofemoral forces in the knee, few studies have been done on the patellofemoral joint. The patellofemoral joint is physically small, and thus there is little space for the placement of sensors, signal conditioning electronics, and telemetry inside the patella implant. This has made the development of smart knee implants difficult with traditional technologies (such as strain gauges). Only recently, a smart patella implant was developed to measure the strength of the patellofemoral joint. Three passive resonant force transducers were integrated with a pre-inserted extra-high molecular weight patella polyethylene without modifying the implant in a configuration where all forces transmitted through the patellofemoral joint were also transmitted through the transducers. Although this technology has not yet been used, the simple integration of sensors with the implant makes this technology promising.

To date, all applications for permanent implants of the smart knee joint have been focused on research, and not on clinical practice. The data led to improvements in implant design, surgical technique, and postoperative care and rehabilitation strategies. Future applications for permanent smart knee implants include control forces during activity to avoid implant failure. Although collecting data from permanent implants remains a challenge, there is significant clinical value for

intraoperative force measurements using test implants during knee arthroplasty. Alignment and calibration of components intraoperatively are crucial to achieving balance and the corresponding mechanical axis of the knee. Collateral tendon relaxation was commonly used to regulate tension between the medial and lateral sections. Implants, which provide strength measurement in two departments, were used intraoperatively to control ligament balance. For intraoperative measurements, preliminary or trial components of the first generation were equipped with four piezoelectric elements for measuring forces in the anterolateral, posterolateral, anteromedial, and posterolateral knee quadrants. This technology has evolved into a family of intelligent tibial test components controlled by an ortho sensor. The system consists of an array of sensors and a microprocessor, which wirelessly transmits real-time data to a portable graphic display unit, showing the forces and contact points in the component intraoperatively.

Hip Arthroplasty

As in the knee, osteoarthritis is common in the thigh. For patients who are not helped by conservative care, general hip replacement is an alternative standard of treatment [206]. By 2030, demand for primary general hip arthroplasty is estimated to grow to half a million. In for hip arthroplasty, the proximal femur is resected, and the acetabulum comes out. The proximal femur is replaced with a metal rod and a metal or ceramic ball. A metal cup is placed in the acetabulum using ultra-high molecular weight polyethylene or a ceramic insert on which the femoral component is articulated. As for the tribes called on the first joint, biomechanics plays a crucial role in the survival of implants and patient satisfaction after arthroplasty. Intelligent implants have played a significant role in understanding the biomechanics of arthroplasty and optimizing results.

The first intellectual implant was created back in the sixties. In this landmark study, a custom three-part femoral component with strain gauges in the neck was designed and manufactured. The prosthesis was wired, and wires ran through the skin from the implant to an external data logger. Only almost a decade later, the next-

generation wireless prosthesis was developed and clinically used. These systems included up to fourteen strain gauge sensors, signal conditioning circuits, and battery-operated and telemetry systems. Sensors and up to five printed circuit boards, which made up the telemetry and signal generation electronics, were placed in a hollow ball and a hollow neck of the femoral component. The longevity of these implants was limited, and initial data was collected over the course of a month. Similar implants were used to measure contact pressure in the thigh for three years after surgery. Later implants measure loads and bending moments in all six directions with an error of less than one percent. Some systems are equipped with two telemetry devices and sensors for measuring force and temperature throughout the femoral component. Modern implants measure strength and temperature with the help of electronics contained in a titanium rod (without an antenna outside the prosthesis). The data from the hip joint implant indicate that the forces reach four times the excess weight for one standing leg, three - when walking. The data also show that while walking, the temperature in the thigh can exceed 43 ° C in joints with a ceramic ball and a cup of ultra-high molecular weight polyethylene. In addition to measuring strength, pressure, and temperature, hip implants have also been developed to detect weakening prostheses, which is one of the most common complications. The implants were equipped with vibration-sensitive blocking amplifiers and telemetry. When the femur vibrated during the simulation, the systems were able to detect attenuation. Like the knee, the motivation for using such an implant today is research applications and not the practice of caring for patients.

Vertebroplasty of the spine

Pain in the lower back and neck are the main causes of disability worldwide. After unsuccessful conservative treatment, many patients prefer to undergo spinal fusion surgery [207]. In the United States, more than half a million spinal fusions occur annually. The goal of spinal fusion is the production of arthrodesis between two (or more) adjacent vertebrae in order to facilitate bone bridges between the vertebrae. In the cervical spine, this is usually achieved by placing a cell implant in

the intervertebral disc space and then attaching the anterior cervical plate to adjacent vertebral bodies. In the lumbar spine, there are several surgical options, among which the most common are posterior decompression and fusion. A laminectomy is performed to decompress the spine, the cell is placed in the space of the intervertebral disc, and the screws and leg rods are used to stabilize the spine. The success or failure of spinal fusion is highly dependent on both biology and biomechanics. However, biomechanics of the spine are poorly understood. The load is extremely difficult due to the repeatedly excessive internal and external muscles acting on the spine. After surgery, the implants are subjected to axial forces, as well as bending moments during bending, extension, lateral bending, and torsion. Understanding these forces is crucial for choosing the appropriate intervention, developing effective implants, and prescribing optimal postoperative rehabilitation.

Intelligent implants have been used as research tools to understand the biomechanics of the spine from the sixties of the last century when they instrumented rods with ten strain gauges and implanted them in patients undergoing fusion for scoliosis. Tool rods were temporarily placed in the spine and used to collect strength data until they were replaced with traditional rods in the following procedure. The rods had lead wires that ran through the skin and connected directly to the data logger. Later, a technology was developed to have the function of the rods as a variable inductance of the transducers, in which the inductance varies with the use of force. In a modified version of the first generation rods, the sensor was connected to a telemetry system. To overcome some of the limitations of these first-generation rods, next-generation systems were included by installing strain gauges on hooks that attached the rod to the spine. Strain gauges were attached to wires that ran through the skin. The systems were used intraoperatively to measure forces during spinal distraction in the correction of scoliosis. As rods are less used, next-generation intelligent spinal implants have been developed using similar strategies, such as common knee and hip components; hollow spaces were created in large fixtures to accommodate strain gauge sensors, signal conditioning electronics, and telemetry systems. The only fixators of the spine, physically large enough, were rods placed on

the back spine in a configuration where they were loaded in parallel (i.e., sharing the load) with the spine. The implants were adapted to measure forces and bending moments in all directions. As research tools, the forces measured by the back rods provided a valuable insight into the biomechanical environment in which the rods are exposed, but since the rods share the load with the spine, the forces in the spine itself cannot be determined in this way. Unlike the posterior rod systems, implants and implants of corpectomy(replacement of vertebral bodies) are loaded sequentially with the spine and, thus, are exposed to the same forces that the spine is exposed to. As hip and knee implants, vertebral implants are large enough to accommodate strain gauges, signal generation electronics, and telemetry inside. However, implants are much smaller than intelligent hip, knee, and posterior spinal implants, and therefore different strategies are used for these systems. Strain gauges were used for the cells to transmit force, but because of their small physical size, these systems either required wires or the implants were connected to telemetry systems that were placed outside the spine in a subcutaneous bag.

Applications for fracture fixation

In the surgical fixation of long bone fractures, the implant attaches to the bone both proximal and distal to the fracture in order to act as a support. Implants stabilize bone fragments to facilitate healing. Fracture fixation options are plates, intramedullary rods, and external fixators. When the bone is loaded (for example, the tibia is loaded when weight is transferred to the lower limb), the loads are transmitted through the bone and fixative. In the acute postoperative period, the fracture is not able to withstand any load, and thus, if the patient carries weight on the limbs, the forces are transmitted exclusively through the retainer, not the bone. As bone marrow is formed, the bone is able to carry some load, and thus the fixer experiences less force. Thus, monitoring the loads on an intelligent fracture fixation device while carrying a load can be used as an indicator of fracture healing. When treating a fracture with open reduction and internal fixation, the forces applied through the bone are transmitted through the plate (Fig. 73). Forces measured with intelligent fracture

fixation devices can be used to provide objective data to guide rehabilitation strategies at different stages of treatment. For example, to determine when the patient can get up, or when the patient is healed enough to return to work or daily life activities.

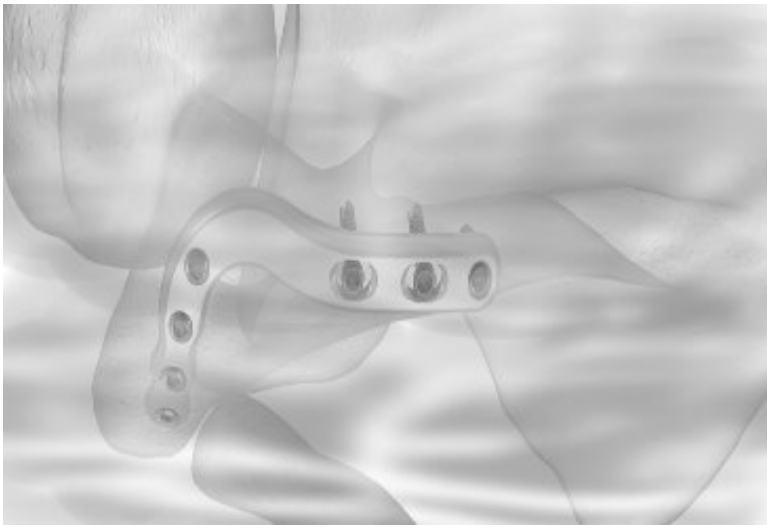


Fig. 73. In the treatment of a fracture with open reduction and internal fixation, the forces applied through the bone are transmitted through the plate.

Problems and new technologies

Despite decades of research, with very few exceptions, smart implants have not yet become part of everyday clinical practice. This is primarily because there are a number of limitations and problems that still have to be overcome in the technology of manufacturing intelligent implants. For systems with complex electronics, technical problems include power consumption, communication range, data transfer rate, size, reliability, and cost. To solve the problems of energy consumption, ultra-low power schemes were studied in combination with energy collection strategies. Using these strategies, the implant generates energy from sources such as vibration, rotation, and deformation during the time , for example, walking. Although energy harvesting strategies are promising, the amount of energy is not enough to power the electronics. To reduce the size of sensors and signal generation circuits for the use of intelligent implants, the technology of microelectromechanical systems (MEMS) is used. Components at the micro-level have proven themselves in the manufacture of

MEMS. This makes them attractive for custom electronic and touch applications. MEMS sensors can be fabricated from biocompatible materials and materials used in the prosthetic implant that x, including polyethylene, titanium, and perylene. Smaller sensors require less energy but usually operate at higher frequencies (from hundreds of megahertz to gigahertz). One additional problem for higher frequencies is that, at higher frequencies, more energy is absorbed by the tissues, which can cause heat and attenuation of the signal between the external electronics and the implanted sensor. Although many MEMS-based sensors have been developed for use in orthopedic intelligent implants, testing has been limited to bench work and preclinical models. Perhaps the most significant barrier to integration into clinical practice was the need to modify the host implant to accommodate sensors and electronics. Creating hollow resonators, complex electronics, and strain gauges is a technically challenging and expensive task. Sensors for next-generation intelligent implants will be small, simple, reliable, and inexpensive and require little to no modification to existing implant designs. Recently, piezoresistive polymers have been used for smart prosthetic implants. The electrical properties (resistance) inherent in these composite polymers change when loads are applied to them. Thus, a piezoresistive polymer with a low wear rate and good biocompatibility can be used as a force-sensitive smart implant in applications where ultra-high molecular weight polyethylene is used today, including arthroplasty of the knee, hip, and shoulder. In a similar way, force sensors and their signal conditioning circuits integrated into a polyethylene insert were developed.

Passive resonators are an alternative to traditional sensor systems because passive resonator sensors do not require electronics. Passive resonant sensors are usually small, simple, and consist of several components [208]. They do not require a signal generation or telemetry, because when they are exposed to an RF field (through an antenna), they resonate. The frequency at which they resonate indicates the state of the sensor. The main (resting, not stimulated) frequency of the sensor is proportional to the electrical characteristics of the sensor (capacitance and inductance). With proper design, when a sensor undergoes a change in a parameter of interest (for example, force, pressure, or voltage), the parameter causes aphysical

change in the capacitance or inductance (or both) of the sensor, which shifts the resonant frequency of the sensor. The resonant frequency of the sensor can be detected using an external antenna.

Recently, a family of passive sensors based on resonators has been described, which are wireless, without battery, telemetry, and do not require electrical connections [208]. Small, simple, inexpensive sensors can be installed in various implants in order to measure parameters, including strength, pressure, temperature, and more. Due to their small size and simplicity, these sensors can be integrated into standard implants with minor modifications or without an implant at all. While this technology was tested only in artificial conditions, it shows great potential for future applications of intelligent implants.

Conclusion

The clinical utility of intelligent implants has been convincingly demonstrated, and the potential of such technology can affect personalized medicine. However, to date, the use of smart implants in everyday clinical practice has problems. However, with the rapidly evolving technology, the widespread introduction of intel l ektualnyh implants really. New sensory technology that minimizes modifications to existing implants is key to introducing smart implants into everyday clinical practice.

SECTION 9.
INNOVATIVE TECHNOLOGIES

9.1 Decentralization of city energy supply systems in the conditions of technological transformations and formation of intellectual cities (smart city)

Анотація. Метою дослідження є визначення ключових викликів та можливостей ефективного розвитку систем енергозабезпечення міст в рамках концепції Smart City, зокрема, в умовах одночасних трансформацій у сферах енергетичних та інформаційних технологій, структури промисловості та економічної активності, зміни підходів до просторового планування та планування транспортної інфраструктури населених пунктів, розширення можливостей застосування інформаційних технологій у керуванні енергосистемами, поширення застосування відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) та накопичувачів електроенергії, підвищення ролі домогосподарств та непромислових споживачів у структурі споживання електричної енергії.

Наведено можливості застосування міждисциплінарних механізмів оптимізації генерації та споживання електроенергії на основі підходу Smart Grid як складової частини концепції «Інтелектуальне місто» шляхом поєднання технологічних та інформаційних рішень модернізації енергосистем та адміністративно-фінансових механізмів трансформації енергоринку в загальному контексті зміни підходів до планування територій та соціально-економічних трансформацій постіндустріального суспільства.

Ключові слова: енергозабезпечення, технологічні трансформації, електрифікація, інтелектуальні системи, децентралізація, Smart City, Smart Grid.

Вступ

Централізація енергосистеми в умовах індустріальної економіки зумовила формування нинішньої структури енергоринку, що базується на промислових підходах та масштабах. Індустріалізація у XIX ст. зумовила стрімке зростання попиту на робочу силу, як наслідок – зростання населення та територіальне

розширення міст, що, в свою чергу, викликало попит на громадський транспорт. Найефективнішим його видом виявився електричний трамвай, бум розвитку якого починається наприкінці XIX ст. Саме компанії з освітлення та трамвайного руху будували перші міські електростанції, однак поступово у промисловості поширюються електричні приводи, у містах будуються великі електростанції, орієнтовані вже на промислових споживачів. Подальший розвиток енергосистем індустріального періоду відбувався шляхом збільшення потужності електростанцій та формування єдиної енергосистеми, а винайдення наприкінці XIX ст. та поширення технології передачі електроенергії на основі трифазної системи струмів сприяло подальшій централізації енергосистем [213].

Після нафтової кризи 1973–1974 років і відповідного зростання вартості традиційних видів палива були великі очікування від здешевлення електроенергії за рахунок поширення АЕС. Однак вже на початку 1980-х визначилися великі економічні труднощі у атомній галузі [212]. Ключовим викликом є негнучкість роботи атомних станцій – АЕС технологічно не можуть забезпечити відповідне регулювання генерації протягом доби. При вирішенні задачі компенсації розбалансованості енергосистеми почали застосовувати нові сучасні механізми та технології, які виникли на основі поєднання силових та інформаційних потоків, регулювання в темпі реального процесу двостороннього обміну енергією в темпі реального процесу, широкого застосування різних типів ВДЕ [210 214].

Нові технології у сферах енергетики та інформатизації надають нові можливості для вдосконалення енергосистем населених пунктів, що значно впливає на якість життя мешканців, на можливості для ділової активності та на поліпшення екологічної ситуації. У поєднанні з концепцією децентралізації влади та підвищенням значення населених пунктів і їх об’єднань це створює передумови для децентралізації енергосистем, підвищення енергоефективності, зниження пікових навантажень, вищої стійкості інфраструктур до природних та техногенних ризиків.

1. Тенденції нової хвилі електрифікації

Електрична енергія – найбільш керований та екологічно чистий енергоносій – наразі є загальнодоступною, тож первинну електрифікацію можна вважати завершеною. Наразі ж саме завдяки екологічності та керованості електричної енергії можна говорити про нову хвилю електрифікації – як на рівні застосування електроенергії замість інших видів енергії, так і інформатизації процесів використання електричної енергії. Ключовими напрямками розширення застосування електричної енергії є подальша електрифікація у сфері побуті (як у домогосподарствах, так і у невиробничому секторі економіки) та на транспорті, у поєднанні зі зростанням обсягів використання електричної енергії у критичних інфраструктурах [213,215].

Електрифікація у побуті на сьогодні відбувається, у першу чергу, шляхом заміщення використання інших джерел енергії у найбільш енергоємних напрямках – опаленні, підігріві води та приготуванні їжі. Так, збільшується частка використання індивідуального електричного опалення та індивідуальних засобів підігріву води (бойлерів і проточних водонагрівачів), кухонних приладів (мікрохвильових печей, електричних чайників і плит), в умовах зміни клімату збільшується використання кондиціонерів та інших приладів забезпечення мікроклімату в помешканнях.

Чинниками, що пришвидшують електрифікацію побуту, є високі вимоги безпеки до підключення газопостачання, у тому числі вимоги до проектів підключень, заборона використання газу у квартирах у висотних будинках, вимоги розміщення газових приладів у окремих приміщеннях. Також великі втрати у застарілих централізованих системах водо- і теплопостачання, тривалі відключення теплопостачання та гарячого водопостачання для ремонту та профілактики зумовлюють активність процесів електрифікації побуту шляхом заміщення використання газу та централізованих мереж і, відповідно, потребу у більш потужних мережах живлення домогосподарств.

Як наслідок, зростає частка споживання електроенергії населенням. Якщо

у 2002 році в Україні вона складала лише майже 19% (і додатково 2,7% – комунально-побутові споживачі, то у 2011 році – вже 25,5% (38,5 млрд. кВт·год) [212]. У 2019 р. цей показник склав вже близько 30% (і ще додатково майже 13% – комунально-побутові споживачі) [212, 214]. Така частка побутового споживання електроенергії домогосподарствами відповідає показникам Євросоюзу: у 2017 році вона складала 27% кінцевого споживання, у абсолютних значеннях український показник практично відповідає рівню Польщі (22,4 %) [218].

Середній профіль національних енергоспоживання домогосподарств свідчить, що мінімальне споживання припадає на другу-шосту години доби, зі стрімким зростанням до сьомої години, а найбільший пік – між дев'ятнадцятою та двадцять першою годинами [219].

Електрифікація на транспорті наразі відбувається як шляхом заміщення використання двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) на електричні двигуни, так і підвищення ролі громадського транспорту та засобів мікромобільності (велосипеди, різні типи електроскутерів) у рамках нової концепції організації внутрішньоміських перевезень, що дістала назву «стала мобільність» (sustainable mobility). Як наслідок, з 1990-х років спостерігається нова хвиля будівництва трамвайних ліній – тоді як у 1930–1970-х роках їх масово закривали і у Європі, і у США, замінюючи на дизельні автобуси.

Новий поштовх розвитку тролейбусних систем надала технологія автономного ходу – обладнання тролейбусів акумуляторами для руху поза контактною мережею. Також починається повноцінне комерційне використання електробусів, які підзаряджаються або у депо вночі, або на зупинках, або із застосуванням тролейбусної контактної мережі під час руху. Використання контактної мережі (як тролейбусами, так і трамваями) дозволяє реалізувати рекуперацію енергії – повернення її у мережу при гальмуванні, що суттєво скорочує загальне споживання енергії. Іншим напрямком сталої мобільності є поширення використання засобів мікромобільності, і не лише велосипедів, а й з електричними приводами – електричні велосипеди, електроскутери,

моноколеса, гіроборди тощо.

У 2010-х роках розпочинається масове виробництво легкових електромобілів, коли розвиток технологій акумуляторів співпав з суспільним запитом на покращення екології в містах. Наразі собівартість електромобілів все ще перевищує ідентичні моделі з ДВЗ, однак чимало міст та країн запроваджують різноманітні преференції, в тому числі компенсація частини вартості та менші податки і збори.

Водночас технічні особливості надають електромобілям і певні переваги при комерційній експлуатації – за великої початкової вартості у подальшому обслуговування та витрати на енергію в перерахунку на пробіг переважно меншими. Це спричинило поширення електромобілів у службах таксі, доставки вантажів та прокату, де добовий пробіг суттєво більший, у порівнянні з користуванням у побуті. Розпочинається електрифікація у сфері вантажного транспорту – мова йде як про міські фургони та сміттєвози, так і повноцінні вантажні автомобілі.

Швидке поширення електротранспорту зумовлює потребу у інфраструктурі підзарядки. Якщо для засобів мікромобільності досить побутової мережі, а у випадку громадського та комерційного транспорту, рух якого прораховано заздалегідь, цим питанням опікуються транспортні компанії, то для легкових електромобілів є два варіанти рішень:

– «повільна» підзарядка здійснюється від побутової електромережі, потребує декількох годин – однак може здійснюватися вночі за зниженим тарифом;

– «швидка» підзарядка потребує суттєвої модернізації електромереж для забезпечення належної потужності, адже одночасна робота кількох таких станцій може мати значні впливи на локальні мережі.

Електрифікація критичної інфраструктури – найбільший виклик для енергосистеми, адже внаслідок подальшої інформатизації та запровадження інтелектуальних систем керування зумовлює потребу у безперебійному надійному електропостачанні для їх роботи. Мова йде про системи,

забезпечують життєдіяльність населених пунктів, зокрема, комунальні інфраструктури водопостачання, каналізації, газопостачання, медичні заклади, особливо спеціалізовані лікарні зі складним медичним обладнанням, операційні комплекси, реанімаційні відділення, систем сигналізації на залізничному транспорті, диспетчеризації авіаперевезень, керування дорожнім рухом, метрополітен, ліфти висотних будинків.

Розвиток інформаційних технологій у таких сферах як громадська та інформаційна безпека, системи зв'язку та збереження даних, дигитталізація фінансового сектору, загальна автоматизація робочих місць спричинила стрімке зростання кількості критичних споживачів електроенергії та значний попит на підвищення надійності електроживлення. Це обумовило необхідність нового погляду на проблему стійкості систем енргозабезпечення, коли наявна значна кількість критичних споживачів різного рівня пріоритетності.

2. Зміни балансу генеруючих та розподільних потужностей енергосистем

Одночасно зі зміною галузевої структури споживання електроенергії відбуваються зміни і у інших складових енергетичного балансу. Зростає кількість учасників енергоринку генерації електричної енергії за рахунок різних типів ВДЕ, з'являються нові можливості накопичення електроенергії, а також внаслідок переходу на постіндустріальну модель економіки, відбувається зміна просторової структури її споживання.

Збільшення і урізноманітнення електрогенерації відбувається за рахунок появи комерційно привабливих комплексів сонячної енергетики та вітроенергетики різної потужності – від домогосподарств та установ, для яких виробництво електроенергії є непрофільною діяльністю, до великих сонячних та вітряних електростанцій за межами населених пунктів. Пришвидшує їх поширення дія «зеленого тарифу» – механізм викупу електроенергії за вищою ціною, аніж у середньому на енергоринку.

І якщо пікові навантаження протягом доби можна спрогнозувати на основі

тривалих досліджень, то робота сонячних та вітряних електроустановок залежить як від пори року, так і від поточних погодних умов, відповідно впливаючи на енергетичний баланс локальних електромереж. У 2019 році оператор ОЕС України НЕК «Укренерго» заявив про брак резервів енергосистеми для підтримки її сталості, і одна з причин – великі об'єми виробництва сонячної та вітрової генерації і відсутність достатньої кількості високоманеврових потужностей [211]. Виникає необхідність реалізації політики впровадженя гнучкої генерації.

Просторова зміна структури споживання та, як наслідок, невідповідність потужностей розподільних мереж попиту на електроенергію була спричинена процесом переходу до постіндустріальної економіки, що включив в себе деіндустріалізацію окремих міст. Економіку більшості міст починає формувати невиробнича сфера – торгівля, фінанси, сфера послуг, транспорт, медицина. Мешканці багатьох міст перестають бути лише трудовим ресурсом для промисловості і стають ключовими споживачами ресурсів та продукції. Все більше торговельних і офісних центрів концентруються в районах компактного проживання, що разом зі зростанням побутового споживання електроенергії вимагає все більших потужностей електромереж у таких районах. У свою чергу, промислові зони, особливо великої площі, мають надлишкові потужності електропостачання, що мають широко і ефективно використовуватись у нових системах енергозабезпечення, наприклад, розміщенням замість виробництв логістичних комплексів [209].

Локальні накопичувачі енергії – принципово нова технологія, що поширюється останнім часом завдяки розвитку виробництва акумуляторів. Донедавна практично єдиним способом накопичення електричної енергії у непікові години і повернення в мережу при піках споживання був гравітаційний – гідроаккумулюючі електростанції (ГАЕС), і лише у промисловому масштабі. Нове покоління акумуляторів виявилося придатним і для стаціонарного використання – передусім для домогосподарств та невиробничих компаній: працюючи в парі з «інтелектуальними» лічильниками, домашні акумулятори

заряджаються у нічний час за дешевим тарифом, забезпечуючи економію коштів, а водночас і безперебійне енергопостачання у разі відключень централізованої мережі [210, 215]. Аналогічним чином працює і технологія Vehicle to Grid (V2G) у електромобілях, все більше з яких завдяки цій технології здатні рекуперувати електроенергію у мережу. Справді, в середньому приватний автомобіль використовується 4% часу, весь інший час він стоїть, що у цьому випадку надає також можливості для додаткового заробітку власнику. Значна сумарна потужність таких накопичувачів електроенергії може використовуватися як «віртуальна електростанця» для компенсації пікових навантажень та безперебійного електроживлення.

Інтелектуальні системи керування локальними енергосистемами почали розроблятися ще у кінці XX ст., коли пов'язані з переходом на постіндустріальну модель розвитку виклики вже почали помітно проявлятися [210, 221, 222]. Інтелектуальна будівля (Smart Bild) чи інтелектуальний будинок (Smart Home) – система, що забезпечує керування всіма електричними приладами за допомогою контролера та програм керування, в тому числі дистанційно. Автоматизоване керування в межах квартири, окремого будинку чи комплексу споруд відбувається на основі датчиків (часу, температури, освітленості, вологості, руху тощо) та дистанційного доступу («інтернет речей», технології безпровідного зв'язку). Передумовою реалізації такої інноваційної платформи на рівні будинку чи будівлі є електрифікація процесів у помешканні (в першу чергу керування кліматом) та наявність у електроприладів засобів автоматизованого керування або шляхом використання «інтелектуальних» розеток), а взаємодія з «інтелектуальними лічильниками» забезпечує оптимізацію витрат власника за рахунок диференційованих тарифів [215].

Новим поколінням інтелектуальних будинків / будівель можна назвати локальні системи з інтелектуальним керуванням (окремий тип Microgrid), що включають локальну генерацію (наприклад, сонячні батареї) та стаціонарні накопичувачі електроенергії. Як наслідок, локальні енергосистеми

перетворюються зі споживачів електроенергії на умовно автономні одиниці енергосистеми (підхід «пасивний будинок»), або й виконують функції додаткової генерації електроенергії (підхід «активний будинок» або просюмер).

3. Smart Grid як енергетична платформа Smart City

Ще в 1993 р. у Кремнієвій долині (Silicon Valley, США) з'явилося поняття «інтелектуальне співтовариство» (Smart Community). Такими спільнотами почали визначати будь-яку цілеспрямовану кооперацію бізнесу і жителів щодо поліпшення життя та умов праці з використанням допустимих інформаційних технологій [214, 220].

Центром регіональної науки Віденського технгологіческого університету (Vienna University of Technology) було виділено 6 напрямків побудови інтелектуальних міст (Smart City): інтелектуальне середовище (природні ресурси), інтелектуальні люди (соціальний і людський капітал), інтелектуальна мобільність (транспорт та ІКТ), інтелектуальний спосіб життя (якість життя), інтелектуальна економіка, або екноміка, що базується на знаннях (конкурентоспроможність), інтелектуальне керування (участь) [221]. Так, складовими напрямки формування інтелектуального середовища виступають енергоефективність, ВДЕ, захист навколишнього середовища, економіка ресурсів.

Визначення Європарламенту (2014 р.) щодо Smart City засновано на цих же шести пунктах. Згідно з цим визначенням, Smart City прагне вирішити суспільні проблеми. Використовуючи IT-рішення в діяльності різних муніципальних суб'єктів і їх партнерів [222]. Разом з цим Європарламент вказує на проблемний контекст: Smart City розглядаються як відповідь на виклики масштабної урбанізації (перенаселення, споживання енергії, розподіл ресурсів, захист навколишнього середовища).

Зміни галузевої та просторової структур споживання, збільшення частки ВДЕ та маневрових потужностей генерації, зростання кількості та можливостей учасників енергоринку зумовили нові виклики, що постають перед

енергосистемами міст і формують запит на нові технічні та організаційні рішення вже на рівні міських та регіональних енергосистем.

У останні десятиліття поширення набули нові підходи до міського розвитку – людиноцентричність, екологічність, соціальна інтеграція, діджиталізація, компактність та концентрація функцій, партнерство влади, громади та бізнесу, оновлення занедбаних промислових зон та історичних кварталів, що знайшло відображення у документах стратегічного планування. В свою чергу, на основі загальної міської концепції розвитку формуються галузеві стратегії – серед який і стратегія «інтелектуального міста» – Smart City.

Smart City являє собою цілісну концепцію інтелектуальної інтеграції інформаційних і комунікаційних технологій для моніторингу та керування міською інфраструктурою. Мета таких заходів – поліпшити життя людей за допомогою підвищення рівня комфорту і безпеки, якості та ефективності обслуговування в різних сферах, оптимізації витрат на низку інтенсивно експлуатованих ресурсів.

Інфраструктура Smart City має на меті цілий спектр найрізноманітніших рішень, які реалізуються за допомогою впровадження інтелектуальних технологій. Як правило, це альтернативні підходи до енергозабезпечення та водопостачання, впровадження сучасних систем із сортування і переробки сміття, введення в експлуатацію немоторизованих транспортних засобів, установка широкої мережі відеоспостереження та відеоаналітики, контроль чистоти повітря.

Згідно з дослідженнями консалтингового агентства Navigant Research, на сьогоднішній день Smart City включає в себе наступні ключові складові [223]:

• ***Smart Energy***: передбачає низку рішень, що застосовуються в областях енергопостачання та енергозбереження (програми керування попитом, енергоефективності та інтеграції ВДЕ);

• ***Smart Water***: передбачає керування водними ресурсами (модернізація водних систем, моніторинг споживання води по секторах, системи екологічної безпеки та контролю повеней);

• ***Smart Buildings***: передбачає створення або облаштування окремих будівель, які акумулюють в собі всі інженерні та інформаційні системи і інтегруються в єдину систему керування (BMS – Building Management System). Така система дозволяє, наприклад, опалювати будівлю у потрібний період робочого дня в залежності від кількості людей в приміщеннях, регулювати потужність вентиляційних установок і чистоту повітря, а також автоматично переходити в режим енергозбереження при відсутності людей в приміщенні;

• ***Smart Transportation***: передбачає створення системи інтелектуальних транспортних і логістичних систем, які забезпечують моніторинг та керування трафіком, дозволяють контролювати оплату дорожніх зборів, реагувати на надзвичайні ситуації, керувати світлофорами. В рамках даного напрямку зазвичай також розглядаються інтелектуальна парковка і сервіс оповіщення на зупинках громадського транспорту;

• ***Smart Government***: передбачає застосування інформаційних технологій для надання державних послуг широкому колу осіб і дозволяє оптимізувати роботи різних департаментів.

Наведемо окремі вже існуючі проекти для Smart City та їх розвиток [218–223]:

1. Smart Energy

У багатьох містах світу застосовується система керування попитом на електроенергію – Demand Response, яка дозволяє знижувати споживання електроенергії в періоди високого навантаження. При підключенні до системи користувач отримує стимулюючі знижки. Брати участь у програмі можуть не тільки громадяни, але й комерційні організації та виробництва. Наприклад, американський Walmart, завдяки оснащеності магазинів системами інтелектуального обліку, займає лідируюче місце в управлінні попитом енергозбереження в США.

Система керування споживанням (англ. Energy Management System, EMS) реагує на сигнал про необхідність розвантаження відповідно до заданого алгоритму. Залежно від інших показників у конкретному приміщенні EMS

впливає на системи вентиляції та кондиціонування, освітлення та холодильне обладнання. Обсяг потужності Demand Response в 2016 році у всьому світі склав 39 ГВт, 28 ГВт з яких припадало на території Північної Америки. Очікується, що світовий обсяг Demand Response до 2025 року досягне 144 ГВт.

2. Smart Water

Навесні 2017 року компанії Huawei, Shenzhen Water і China Telecom запустили перший у світі комерційний проект Smart Water («інтелектуальне водопостачання») в Шеньчжені, повністю оновивши систему обліку водопостачання та встановивши близько 1,2 тис. інтелектуальних лічильників споживання води на базі інформаційної технології вузькосмугового інтернету речей (Narrow Band-IoT, NB-IoT). Smart Water дозволяє аналізувати витрати води, уникати витоків, підвищує ефективність циркуляції води і оптимізує використання ресурсів. Жителі ж отримують зручний доступ до послуг комунального господарства.

За прогнозами Navigant Research, сектор Smart Water в найближчі п'ять років покаже найактивніше зростання через високі ризики в показниках якості води, її вартості та доступності.

3. Smart Government

У багатьох країнах світу проекти реалізовані у вигляді облаштування адміністративних центрів надання послуг громадянам і бізнесу, коли є необхідність в обробленні, підготовці або отриманні низки документів. Такі системи базуються на централізованих базах даних з використанням різних додатків для зв'язку з веб-інтерфейсами. Блокчейн-технології дають принципово нові можливості для розвитку електронного уряду (eGovernment). Гранична захищеність інформації робить дані, занесені в систему, найвірогідніше будь-якого паперу з підписами і печатками. Смарт-контракти дозволяють автоматизувати операції з даними і задавати алгоритми їх виконання відповідно до нормативних актів. Наприклад, в Дубаї планується впровадити блокчейн-технології в державний сектор вже до 2020 році.

4. Smart Transportation

Сектор охоплює велику кількість різних технологій, залишаючи в пріоритетах перспективу розвитку саме транспортних і вантажних перевезень. Багато проектів сьогодні знаходяться на стадії масштабної розробки і поки що ніде в світі на практиці не застосовуються. Їх основні напрямки сьогодні:

• Швидкісні перевезення за допомогою вакуумного поїзда: Hyperloop One – проект швидкісного вакуумного поїзда, згідно з яким для пересування алюмінієвих капсул по трубопроводу планується використовувати магніти і потужні вентилятори. У 2022 році планується, що поїзд зможе перевозити і пасажирів.

• Доставка за допомогою дронів: першою ластівкою в цьому напрямі став Amazon з пілотним проектом Prime Air, запропонувавши автономну доставку і транспортування товарів за допомогою інтелектуальних дронів, керованих пристроями інтегрованої електроніки. У 2016 році, за даними Quora, тільки на операційні витрати витрачено близько 7 млн. дол.

• Новий напрямок в логістиці: системи Tube logistics – припускають трубопровідні або тунельні перевезення. За прогнозами DHL, проекти цього сектора будуть реалізовані в найближчі п'ять років або трохи пізніше.

• Підземна транспортування вантажів: у Швейцарії запущена автоматизована система підземних вантажних перевезень. "The Cargo Sous Terrain" – цокольно-підземна автоматизована система вантажних перевезень починає функціонувати в Швейцарії. Система являє собою мережу труб з саморухомими платформами і пересадковими станціями, повністю працює на відновлюваних джерелах енергії. Вартість проекту, що фінансувався приватним сектором, склала 3,4 млрд. дол. Початковий пілотний тунель загальною протяжністю 66 км, з'єднав Цюріх, найбільше місто Швейцарії, з логістичними центрами в районі Берна на заході. Безпілотний автоматизований транспорт приводиться в рух за допомогою електромагнітної індукції та працює на швидкості 30 км / год всі 24 години на добу.

• Тунельні перевезення: німці розробили проект CargoCap – систему тунельної перевезення, орієнтованої на використання в ритейлі. На даний

момент тестується її прототип і триває активний пошук інвестицій на реалізацію розробки.

Для оцінки рівня інтелектуальності можна запропонувати низку показників соціальної енергоефективності та індікаторів їх вирішення [215, 207]:

1. Рівень душового електроспоживання по місту в цілому і, особливо, по групі домашніх господарств і сфери послуг.

2. Рівень оснащеності домашніх господарств електропобутовими приладами, електричними плитами і електроустановками, які забезпечують комфорт в оселях (електроопалення, системи клімат-контролю).

3. Вимоги надійності та безпеки енергопостачання постають одними з головних в питаннях соціальної енергоефективності. Саме питання якості енергетичного обслуговування, у т.ч. надійність і безперебійність енергопостачання є найбільш значими з точки зору громадян.

4. Підвищення електроозброєнності побуту (зростання душового електроспоживання в житловому секторі), а також у сфері послуг, на транспорті, у соціальній сфері міста.

5. За рахунок підвищення керованості електропостачання за участю всього населення і кожного індивідуального громадянина може бути отримано нове більш висока якість ефективного енергопостачання.

Щодо впровадження інтелектуальних технологій в масштабах міст здійснюється за рахунок реалізації концепції «Інтелектуальне місто» (Smart City). Концепція «Інтелектуальне місто» має на увазі інтеграцію інформаційних і комунікаційних технологій для оптимізації керування міським майном. Прикладами інтелектуальних рішень, реалізованих в інфраструктурі інтелектуальних міст, є: енергозабезпечення міста за рахунок альтернативних джерел енергії, оборотне водопостачання, ефективне використання підземного простору, комплексна переробка відходів, створення транспортної мережі без участі моторизованого транспорту або із застосуванням екомобілів, створення мережі інтелектуального міського паркінгу, контроль якості повітря і інш. до

числа «інтелектуальних міст» можна віднести еко-міста Масдар в Об'єднаних Арабських Еміратах і Фрайбург в Німеччині, високотехнологічні Сінгапур, Барселону, Лондон, Сеул і Сондо в Південній Кореї та ін. Впровадження інтелектуальних систем в міську інфраструктуру забезпечує підвищення рівня комфортності проживання, якості та ефективності обслуговування населення, зниження витрат на керування і комунальні ресурси, забезпечує підтримку інновацій та екологічної економіки. Так, наприклад, реалізовані в Барселоні інтелектуальні системи дозволяють економити на водопостачанні 42,5 млн. євро на рік, інтелектуальне вуличне освітлення в Сан-Хосе і Лос-Анджелесі забезпечує щорічну економію коштів близько 9 млн. дол. на рік тощо.

На думку авторитетної дослідницької компанія ABI Research (USA, New York), сукупний фінансовий ефект від перетворення міського простору в інтелектуальну екосередовище становить близько 5% зростання ВВП національних економік, що дозволить розумним містах в найближчі десятиліття стати основними центрами зростання на планеті.

Світова практика дозволяє виділити три умовні фази становлення інтелектуальних міст, які відображають зміну ключових технологій і типів здійснюваних проектів [214, 216–219]. Вже розроблена еталонна архітектура інтелектуального міста, а в рамках окремих проектів відпрацьовані критичні технології. В даний час здійснюється перехід до загальних платформ, які відкривають доступ до даних і забезпечують всі вимоги безпеки. Саме такий підхід, на думку європейських ідеологів Smart City, забезпечить перехід від «цифрових» міст до дійсно інтелектуальних [214, 218–222].

Умовні фази становлення інтелектуальних міст припускають, що:

Smart City 1.0 – підвищення ефективності керування містом; міські менеджери отримують доступ до інтегрованих даними про стан сервісів, енергії і інфраструктура в реальному часі; на ринку домінують великі технологічні компанії;

Smart City 2.0 – розвиток і керування міст на базі цифрових моделей інфраструктури; включення стартапів та малих і середніх інноваційних

підприємств в ринкові сегменти Smart City;

Smart City 3.0 – Smart City як стратегія розвитку міст зі спільним баченням; залучення всіх груп учасників (приватний сектор, спільноти, академічне середовище, кластери, органи влади, інститути розвитку), формування стійких інноваційних екосистем на базі ІКТ; громадяни отримують ключову роль у формуванні вигляду міст і можливостей взаємодії з міським середовищем. Характеристика умовних фаз становлення інтелектуальних міст з точки зору енергетики, мереж і комунікацій, розвитку інфраструктури наведена в таблиці 21.

Таблиця 21

Характеристика умовних фаз становлення інтелектуальних міст

Критерій	Smart City 1.0	Smart City 2.0	Smart City 3.0
Енергетика	Системи керування електроенергією	Інтелектуальні системи розподілу і керування електроенергією (Smar Grid, Microgrid, AMR)	Сполучені системи розподілу і споживання електроенергії (Cjnnected Smart Grid Systems)
Мережі та комуникації	Gis-інформування; канали провідного наземного зв’язку	Інтелектуальні мережі, бездротові точки доступу до мережі Інтернет, 3G/4G, оптимальні мережі (wireless broadband service)	Семантичні мережі, об'єднання дані; відкриті дані з різних джерел для розпізнавання патернів, генерації оповіщень, візуалізації інформації, передбачувана аналітика (semantic web, predective analytics)
Развиток інфраструктури	Сталий развиток інфраструктури та будинків	Системи переробки і розподілу відходів, «зелені» будівлі, енергоефективні будівлі	Інтелектуальні автоматизовані будівлі та інфраструктури

До Smart City 1.0 відносяться ті міста, які формувалися «з нуля» крупними гравцями IT-індустрії. Метою керуючих компаній було опробувати розроблені рішення. Згідно з планами, нове місто повністю забудовувалося інтелектуальними будинками, прокладалися інтелектуальні енергетичні та транспортні мережі. Приклад Smart City 1.0: м. Масдар (ОАЕ), м. Сонг (Південна Корея).

Для Smart City 2.0 велику роль набуває комплексне стратегічне бачення розвитку міста. Для таких проектів потрібне тісне співробітництво адміністрації міста і великої тохнологічної компанії. Ключовий тренд – впровадження комплексних систем керування міською інфраструктурою, які б дозволили проводити моніторинг і диспетчеризацію критично важливих об'єктів, передбачали появу загроз. Приклад Smart City 2.0: м. Пусан (Південна Корея), м. Барселона (Іспанія), м. Ріо-де-Жанейро (Бразилія).

Завдання соціального залучення, забезпечення рівного доступу і технологій, а також економії бюджету і захисту навколишнього середовища покликані вирішувати інтелектуальні міста третього покоління. Smart City 3.0 проголошує принцип, згідно з яким розумне місто не може існувати без інтелектуального села. Проекти поширюються і на сільську місцевість: Smart Grids простягаються за межі міста, щоб збалансувати потоки ресурсів між містом і селом. Ще одна важлива риса таких міст – максимальне повторне використання ресурсів і спільне споживання продуктів. Приклад Smart City 3.0: м. Лондон (Велика Британія), м. Відень (Австрія).

Отже ми можемо сформулювати загальні рекомендації по впровадженню систем Smart City:

– залучення громадян та інших зацікавлених сторін у вигляді державних, громадських і бізнес інституцій;

– переоцінка ролі міста і його адміністрації в житті кожного громадянина як потенційного користувача розумними технологіями;

– виключення ізольованих і застарілих рішень на користь застосування та розробки нових передових автоматизованих систем;

– заохочення ініціативних груп і організацій, які виступають в ролі розробників інноваційних моделей функціонування сучасного міста;

– створення всеосяжної стратегії даних і платформ даних для реалізації проектів в даному напрямку;

– створення інноваційних лабораторій для стимулювання нових розробок, спрямованих на збереження екосистеми та підвищення рівня комфорту і

безпеки громадян;

– забезпечення безпеки даних;

– залучення представників міської інфраструктури до розробки, фінансування та реалізації ініціатив, спрямованих на впровадження систем Smart City;

– забезпечення політичної підтримки відповідних проектів і процесу їх інтеграції в суспільство;

– створення координаційного органу та спеціальної системи планування прийняття рішень щодо впровадження інноваційних технологій;

– розробка взаємопов'язаних комплексних підходів до реалізації проектів з метою охопити якомога більше сфер життєдіяльності громадян в місті.

4 Smart Grid – базові технології інтелектуального міста та їх цільове призначення

Світова практика свідчить, що наразі ключовими ініціаторами впровадження підходів Smart Grid є великі міста – з одного боку, через значні коливання споживання, наявність великої кількості об’єктів критичної інфраструктури, з іншого – через потребу динамічного розвитку територій і, відповідно, потужностей електропостачання. В той же час процес у великих енергетичних компаній немає комерційного інтересу у впровадженні інновацій у енергетичній системі, які призведуть до загального зниження споживання електроенергії [210, 214–216].

Ключовими напрямками децентралізації енергоринку та створення локальних енергосистем за принципом Smart Grid є формування політики розвитку енергетичної інфраструктури та тарифів на рівні органів місцевого самоврядування, реалізацію якої мають здійснювати локальні оператори – компанії, що контролюються органами місцевого самоврядування. Зокрема, технології Smart Grid дозволяють реалізувати диференційовані та інтерактивні тарифи, за допомогою яких можна як керувати безпосередньо генерацією, накопиченням та споживанням електроенергії у автоматизованому режимі, так і

впливати на учасників ринку, в тому числі стимулюючи інвестиції у ту чи іншу складову енергосистеми.

Для ефективного впровадження концепції Smart Grid, виходячи з поля інтересів учасників енергоринку, необхідним є перегляд загального бачення архітектури енергосистеми – шляхом децентралізації та формування окремих енергетичних компаній місцевого рівня як операторів локальних електромереж Smart Grid з локальними потужностями генерації та накопичення електроенергії.

У такому разі кінцевими споживачами для великих енергетичних компанії стають локальні мережі енергозабезпечення Smart Grid, які можуть виступати на національному енергоринку як «віртуальні електростанції» та надавати послуги з компенсації пікових навантажень. У той же час великі промислові споживачі електроенергії можуть залишатися суб'єктами національного енергоринку, якщо їх інтеграція у Smart Grid є недоцільною.

Така архітектура національного енергоринку несе свої переваги і для великих енергетичних компаній. Зокрема, це дозволяє здійснити укрупнення енергетичних компаній, особливо у сфері енергопостачання, і поліпшити якість реалізації ними завдань відповідного масштабу. В свою чергу, тарифи на електроенергію для локальних мереж на національному енергоринку доречно поставити у залежність від характеру споживання – а саме пікових навантажень, що є найбільшою проблемою для об'єднаної енергомережі країни.

Формування інфраструктури інтелектуальної мережі Smart Grid як енергетичної платформи Smart City одночасно забезпечує підвищення параметрів систем життєдіяльності міста, зокрема, надійність, стійкість, енергоефективність, екологічність, та створює можливості для формування локального енергоринку за участі непрофільних компаній, установ та домогосподарств, а в кінцевій меті – скорочення сукупного енергоспоживання. Принципом роботи мережі Smart Grid є інтерактивне керування генерацією, накопиченням та споживанням електроенергії на основі потоків даних у реальному часі, математичного прогнозування, забезпечення необхідних

параметрів електроенергії та максимально стійкої роботи систем критичної інфраструктури.

Технології інтелектуальної енергетики підвищують екологічність, безпеку, потужності енергомережі, скорочують витрати на споживання енергії.

При побудові Smart City на рівні загальної архітектури енергетики відбуваються структурні зміни. Кінцевим користувачем енергетичної система стає просюмер – активний споживач, який не тільки використовують, а й виробляє енергію. Через адаптивні цифрові мережі просюмер вступає в партнерство з зовнішнім навкошнім середовищем, будь то єдина енергетична система країни, енергосистема міста або сусіднє домогосподарство. Монетизується енергообмін за допомогою цифрової платформи, що дозволяє конструювати сервіси і без посередників здійснювати мікроінвестиції. Як наслідок, навколо спільноти просюмерів формується інтернет енергії – екосистема виробників і споживачів енергії, які безперешкодно інтегруються в загальну інфраструктуру та обмінюються енергією.

Впевнені, що протягом найближчих п'яти років повністю сформується пакет нових технологій. До цього пакету увійдуть силова електроніка, яка дозволить керувати потоками потужності в різних мережах; технології зберігання електроенергії, розподіленого інтелектуального керування, що породжує проектування і моделювання, а також високі фінансові технології – блокчейни, смарт-контракти, децентралізовані автономні організації. До 2025 р. наведені технології по ефективності набагато випередять традиційні рішення.

Технологічні зміни на сьогодні зачіпають всі основні сегменти (генерація, передача, розподіл енергії і кінцеве споживання) та обумовлять перегляд сформовані бізнес-моделі. Зокрема, поява інтелектуальних мереж нового покоління обумовлено:

– впровадження розосередженої генерації і приріст технологій на основі ВДЕ;

– використання нових додатків для високовольтних мереж передачі, які будуть задіяні в аналітиці даних;

– новими підходами в області передачі і розподілу енергії при використанні інтелектуальних автоматизованих систем. Включення просунутої інфраструктури вимірювання та обліку (Advanced Metering Infrastructure) для читання, передачі та обміну даними між дата-центрами;

– новими рішеннями для керування споживчими сервісами і технологіями накопичення енергії.

Як приклад наведемо вплив інтеграції ІКТ на розвиток міських електромереж. При модернізації мереж з початку другого десятиліття XXI ст. велику роль починають відігравати наступні елементи автоматизованих систем керування: PMUs і SCADA системи, цифрова підстанція, датчики напруги, автоматизація розподілу електроенергії, передова система керування відключеннями, керування використанням енергії (Demand Side Management).

Починаючи з 2015 р. дедалі вагомішу роль починають відігравати:

– передова вимірювальна інфраструктура (Advanced Metering Infrastructure), зокрема розумні лічильники, керування енергоданними (Meter Data Management), цінозалежне споживання (Demand Response);

– мікрогріди (Microgrids), зокрема, інтелектуальні пристрої та платформи з керування електроенергією, накопичення енергії, найбільш передові обмежувачі струму.

При цьому Smart Grid може представляти собою об’єднанням як окремих Microgrid (в тому числі «інтелектуальних будинків»), так і традиційних споживачів та виробників електроенергії.

Ключовою відмінністю Smart Grid в межах Smart City є наявність великої кількості суб’єктів – енергетичних компаній, непрофільних компаній, домогосподарств, різноманітних громадських ініціатив та безперечно міської адміністрації і регулятора енергоринку. Налагодження взаємовигідної співпраці влади, громади, бізнесу та науково-дослідних інституцій забезпечує синергію зусиль, зв’язність учасників, реалізує мережевий характер взаємодії, що має перевагу між традиційним вертикально-галузевим.

Smart Grid потребує максимальної електрифікації інфраструктури для

забезпечення керованості та постійного моніторингу процесів у системі. При цьому більший ефект від процесів трансферту електроенергії створює повна електрифікація – експлуатації будівель, транспорту, використання відновлювальних джерел електроенергії та накопичувачів. Рівень децентралізації електромережі – тобто визначення меж окремої Smart Grid – може бути різним: від невеликого віддаленого поселення чи виробничого комплексу до мікрорайону, окремого міста чи навіть регіону; критерієм може бути спроможність повноцінної автономної роботи [2].

Основними технічними рішення з впровадження Smart Grid для побудови Smart City є:

- створення єдиного диспетчерського центру керування енергосистемою з високим ступенем автоматизації, використанням «великих даних» (Big Data), можливостями безпосереднього керування компенсаторними потужностями та споживанням;

- скорочення радіусу енергозабезпечення шляхом застосування генераторів електроенергії малої та середньої потужності як основних та компенсаторних потужностей генерації електроенергії, зокрема газових міні-ТЕЦ в межах житлових комплексів та мікрорайонів, станцій спалювання біогазу та сміття та вітрогенераторів у передмістях;

- поширення використання сонячних батарей, зокрема, на дахах муніципальних будівель та багатоквартирних будинках;

- поширення використання локальних накопичувачів електроенергії, зокрема домашніх акумуляторів;

- поширення застосування систем «розумний будинок» / Microgrid з власними джерелами генерації та накопичення електроенергії;

- інтеграція систем енергозабезпечення громадського електротранспорту до єдиної мережі Smart Grid, використання електромобілів у екстрених та комунальних службах, у тому числі мобільних резервних джерел енергії;

- створення мережі енергоцентрів на базі станцій зарядки електромобілів та паркінгів, пов’язаних напряму з локальними потужностями сонячної

енергетики.

На завершення розглянемо більш докладно поняття і зміст інтелектуальної будівлі (Smart Bild) як елемента системи інтелектуального міського простору Smart City. Інтелектуальна будівля – це будівля, що забезпечує ефективне використання робочого простору. Таке визначення в 1970-х рр. дав Інститут інтелектуальної будівлі у Вашингтоні, тоді ще новому підходу до проектування та керування інженерними системами будівель [219, 223].

Інтелектуальна будівля передбачає використання комплексної інтеграції систем автоматики в інженерних мережах та інформаційних системах керування внутрішніми процесами будівлі, що дозволяє збільшити ефективність функціонування і надійність всіх систем та виконавчих пристроїв будівлі. Головною особливістю інтелектуальної будівлі є об'єднання окремих інженерних систем і підсистем керування різних виробників в єдиний керований комплекс. Технічною основою інтелектуальних будівлів є автоматизована система керування будівлею (англ. Building Management System, BMS). При побудові BMS, як правило, реалізується три рівня автоматизації:

1. Верхній – рівень диспетчеризації і адміністрування (Management Level) з базами даних і статистичними функціями, на якому здійснюється взаємодія між персоналом (операторами, диспетчерами і т.д.) і системою через людино-машинний інтерфейс, реалізований в основному на базі комп'ютерних засобів і SCADA-систем. Цей же рівень повинен відповідати за інформаційну взаємодію з рівнем комплексу будівель.

2. Середній – рівень автоматичного (автоматизованого) керування (Automation Level) функціональними процесами, основними компонентами якого є контролери керування, модулі введення-виведення сигналів і різне комутаційне обладнання.

3. Нижній – «польовий» рівень (рівень кінцевих пристроїв) (Field Level) з функціями входу / виходу, що включає в себе датчики і виконавчі механізми, а також кабельні з'єднання між пристроями і нижнім-середнім рівнями.

Висновки

1. Ключовими напрямкам розвитку енергосистем Smart City є подальша інформатизація та застосування технологій «великих даних» (Big Data), зокрема, запровадження інтелектуальних лічильників, систем керування споживанням з диференціацією тарифів та визначенням критичних споживачів, застосування гнучких інтелектуальних алгоритмів координації роботи споживачів та систем розосередженої генерації та збереження електроенергії.

2. Зростає роль домогосподарств та інших кінцевих споживачів електроенергії (офісні та торговельні центри, публічні установи, підприємства, що не відносяться до енергетичної галузі), які завдяки новим технологіям можуть не лише здійснювати заходи з енергоефективності, а й долучитися до локального енергоринку, встановлюючи власні системи генерації, в тому числі резервної, зберігання електроенергії, і вносячи свій внесок до інформаційної системи Smart Grid шляхом запровадження інтелектуальних технологій керування власними енергосистемами.

3. Формування локальної енергосистеми за концепцією Smart Grid як енергетичної складової Smart City потребує якісно нової архітектури системи енергозабезпечення – як на рівні технічних рішень, так і механізмів організаційної взаємодії суб’єктів господарювання та фінансових розрахунків. Враховуючи, що основною заінтересованою стороною створення Smart Grid є органи місцевого самоврядування, впровадження таких систем можуть ефективно здійснювати локальні енергетичні компанії, що працюють з кінцевими непромисловими споживачами електроенергії і діяльність яких визначається та контролюється органами місцевого самоврядування через формування та реалізацію місцевої (локальної) енергетичної політики.

9.2 Perspective direction of recycling of industrial waste in the technology of production of building materials

Традиционно в современных технологиях рециклинга промышленных отходов основным направлением переработки отвальных массивов фосфогипсов является производство строительных материалов. Технологии изготовления фосфогипсобетонных строительных материалов предусматривают производство многокомпонентных сырьевых смесей в состав которых включают: цемент, известь, трепел, шлаки, золы, керамзитовую пыль и другие компоненты, содержащие силикаты, алюминаты, алюмоферриты. Продукты их гидратации и взаимодействия с сульфатом кальция образуют водостойкие новообразования в структуре полученного материала. Обязательным условием разработки составов фосфогипссодержащих вяжущих и смесей является создание химико-технологических предпосылок, исключающих условия образования в смеси высокоосновного гидросульфоалюмината кальция ($3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}3CaSO_4{\cdot}31H_2O$) [224-225]. Шлаки, золы, опока, трепел рассматриваются как реакционно-способные кремнеземсодержащие наполнители, поскольку в присутствии фосфогипса они взаимодействуют с известью и цементом, образуя гидратные новообразования, более сложные комплексы, гидратные соединения, не похожие на гидросиликаты — продукты гидратации цемента [226].

Среди существующих способов повышение эффективности гидравлических взаимодействий компонентов формовочный растворов и активных минеральных добавок наиболее распространенным является механическая активация путём их предварительного помола. Наличие в составе фосфогипсового сырья свободных кислот представляет возможность использовать их для химической активизации прежде всего золы-унос, как компонента малоклинкерных фосфогипсозолоцементных вяжущих. Разрушение стекловидных пленок на поверхности золы, весьма очевидно, обеспечит усиление ее гидравлической активности.

Известно, что применение активных минеральных добавок в технологии производства гидравлических вяжущих диктуется несколькими существенными причинами: необходимостью придания цементам специальных свойств, экономией топливно-энергетических ресурсов, улучшением экологического баланса перерабатывающих отраслей народного хозяйства, за счет утилизации промышленных отходов. В существующих технологиях изготовления строительных материалов природные добавки и продукты переработки промышленных отходов способствуют интенсификации определенных физико-технологических процессов их производства. Минеральные активные добавки, к числу которых относятся: измельченные трепелы, опоки, мергели, туфы, липариты, диатомиты, вулканические пеплы, топливные золы, а также доменные гранулированные шлаки, обожженные глины и т.п., — способны взаимодействовать с гидратом окиси кальция, улучшая те или иные свойства вяжущих и при этом снижать их стоимость [227-228].

Экспериментальные данные показывают, что использование золы ТЭС в бетоне при введении добавок-модификаторов может достигать 200 кг/м^3. При содержании в 1 м^3 бетона 150÷200 кг золы, ее утилизация только для производства бетона может составить 22÷30 млн. т, или 35÷45 % объема ее образования. При этом применение зол ТЭС в бетонах позволяет сократить расход цемента на 5÷15 %, уменьшить среднюю плотность бетона, повысить теплозащитные свойства конструкций [229-230].

Наиболее эффективным представляется способ использования золы-уноса путём замены массовых частей цемента и песка при соблюдении нормированных соотношений компонентов сырьевых смесей. В данном случае достигается максимальная экономия цемента и наибольший объем утилизации золы-уноса. Такой строительный бетон требует при затвердении меньше воды, имеет меньшее тепловыделение, нежели чистый портландцемент, характеризуется меньшей усадкой. Прочность цементов, смешанных с золой, более низкая в ранние сроки твердения, в более поздние сроки — разница в прочности уменьшается и выравнивается [231-233].

Многочисленные исследования показали, что введение в бетонную смесь золы-уноса взамен части песка в пределах 20 % сопровождается не только повышением прочности при сжатии сразу после тепловлажностной обработки на 15÷40 %, но и в 28 суточном возрасте — на 12÷15 % [234]. Зола выполняет роль микронаполнителя в бетонной смеси, улучшает гранулометрический состав бетона.

Цементные растворы с добавкой 30 % золы, размолотой до 10500 см^2/г в возрасте 28 суток имеют прочность приблизительно равную соответствующим показателям для раствора из чистого цемента. Цементные растворы возраста 3 и 6 месяцев с добавкой золы, размолотой до 6450 и 10500 см^2/г имеют прочность, которая значительно превышает соответствующие показатели контрольных образцов. Однако, увеличение тонкости помола зольной составляющей связано со значительными энергозатратами и большой материало- и трудоёмкостью.

Использование золы ТЭЦ позволяет экономить цемент, облегчает ряд производственных операций (виброуплотнение бетона и керамзитобетонных смесей) и значительно снижает себестоимость продукции. Вначале золу использовали в качестве части цемента в товарных растворах и бетонах. Затем немолотую золу стали применять для улучшения общей гранулометрии смеси, компенсируя неудовлетворительный зерновой состав природных песков. Применение золы как в молотом, так и в немолотом видах в растворах и бетонах позволяет значительно уменьшить расход цемента на 1 м^3 изделий, причем использование золы в молотом виде, с точки зрения экономии цемента, более эффективно. Замена части относительно дорогого цемента золой положительно сказывается на экономике предприятия учитывая высокую энергоемкость производства цемента и возрастающие цены на энергоносители.

Необходимость производства малоклинкерных вяжущих в Украине диктуется следующими причинами: низкая энергоемкость и стоимость таких вяжущих; необходимость существенно прироста низкомарочных вяжущих, в связи с переходом на малоэтажное строительство жилья, при котором

экономически не выгодно использовать высокомарочные цементы; повышение объемов использования производимой золы-унос до уровня стран с рыночной экономикой; попутное решение экологических проблем отдельных регионов страны.

Для разработки композиционных строительных материалов, содержащих фосфогипс и золу-унос была предложена ресурсосберегающая технология механо-химической активизации золы-уноса кислыми остатками накопленными в составе отходов химических производств. Предварительное смешивание фосфогипса с золой-унос обеспечит дополнительную химическую активность зольной составляющей. Кислоты, содержащиеся в фосфогипсе, будут разрушать стекловидные пленки частиц золы-унос, а также взаимодействовать с ее щелочными оксидами. При взаимодействии фосфогипса с золой-унос происходит разрушение алюмосиликатных оболочек стекол с образованием гидросиликатов кальция и сульфатов алюминия. Разрушение стекловидных оболочек частичек золы-уноса в последующем обеспечит дополнительную гидравлическую активность компонентов растворных смесей при использовании активных минеральных добавок и портландцемента [235-236].

Наиболее глубокая нейтрализация остатков кислот, в составе фосфогипсозольных композиций, может быть достигнута введением в их состав активной минеральной добавки. Добавка мергелей обеспечивает связывание свободной извести в составе композиции, исключая создание эттрингита, а его карбонатная составляющая нейтрализует остатки кислот. В составе мергелей содержится не только карбонатная составляющая ($CaCO_3$), но и кремнезем активной формы (SiO_2) [237-239].

Предварительное перемешивание и выдерживание смеси фосфогипса и золы-уноса при комнатной температуре при соотношении 60 : 40 в течение 0; 3; 6; 9; 12; 24 часов и введение в смесь активной минеральной добавки и цемента, также при различных количествах, приводит к повышению прочности композиционных вяжущих. Прочность материала зависит также от

времени нейтрализации кислот, содержащихся в фосфогипсах [240-241].

Ресурсосберегающая технологическая схема производства малоклинкерных вяжущих на основе фосфогипса (дигидрит), золы-уноса, цемента и природных добавок предусматривает обработку компонентов сырьевой смеси в трехсекционном проходном смесителе, при этом обеспечивает химическую и механическую активизацию золы-уноса и фосфогипса. Технологическая схема производства стеновых строительных материалов включает следующие основные этапы: подготовка материалов; приготовление фосфогипсозольной смеси для нейтрализации кислот при интенсивном перемешивании; помол активной минеральной добавки; поэтапное смешивание фосфогипсозольной смеси с другими компонентами. Результаты испытаний приведены в табл. 22.

Таблица 22.

Характеристики образцов-моделей строительных материалов

Составы сырьевой смеси, %				ρ, кг/м^3	Прочность, МПа		W, %	Коэффициент размягчения $K_р$
Фосфо-гипс	зола-унос	Портланд цемент	мергель		$R_{сж}$	$R_{из}$		
50	30	20	—	1557	17,5	3,96	12,3	0,72
50	30	10	10	1642	19,8	4,78	9,39	0,84
25	43	11	21	1670	20,1	3,45	15,3	0,76
25	43	21	11	1697	29,7	2,95	11,8	0,85

Представленные в таблице 22 результаты исследований физико-механических характеристик образцов подтверждают, что повышение гидравлической активности и водостойкости вяжущего материала, полученного з использованием фосфогипса и золы-уноса достигается добавлением активных минеральных добавок, обеспечивающих образование гидросиликатов кальция. Рациональный способ нейтрализации остатков кислот фосфогипсового компонента золой-унос и добавкой мергеля будет иметь существенные преимущества по сравнению с технологиями нейтрализации остатков кислот фосфогипсов известью или цементом. Полученный состав сырьевых смесей

строительных материалов в ресурсосберегающей технологии с использованием фосфогипса, золы-уноса, мергелей, портландцемента и заполнителей удовлетворяет физико-механическим требованиям, предъявляемым к стеновым изделиям для малоэтажного строительства. Как видно из табл. 1 прочность образцов-моделей стенового материала варьируется в пределах от 17,5 до 29,7 МПа. Таким образом он может быть использован как альтернатива традиционным керамическим стеновым изделиям, поскольку прочность материала при сжатии практически совпадает, а прочность при изгибе и значение Кр превышают аналогичные показатели для обычного кирпича.

SECTION 10.
LIFE SAFETY

10.1 Specifics of the multivariate simulation evaluation of the system “rescuer - emergency equipment - emergency” functioning

In accordance to the modeling simulation methodology [242], the rationale for proposals to improve the efficiency of emergency rescue operations (ERO) should be based on an analysis of the laws governing the implementation of this process, which should be obtained from an assessment of how the "rescue – emergency equipment – emergency"(REESE) system operates. At the same time, the initial variables are indicators characterizing directly the rescuers (set $X_{СПАС}$), emergency equipment (set $X_{АСО}$), the location of the ERO (set X_M) and the emergency (set $X_{ЧС}$). Given that the initial data are considered at the time of emergency, we can assume that in each set there are no common variables and, accordingly, they are such that do not overlap [243]

$$X = X_{СПАС} \cup X_{АСО} \cup X_M \cup X_{ЧС}. \quad (1)$$

In addition, in the reference books used by rescuers, the procedure for liquidation (localization) of emergencies is determined, which represents a lot of options for conducting ERO

$$Q = \langle \{Q_m\};\ m = 1,...,n_m;\ \varphi_1 : K_m \times X \to Q_m \rangle, \quad (2)$$

here Q_m – is the m-th version of the ERO; n_m – the number of options for combat work; K_m – a set, arranges the rules for organizing REESE in such a way as

to obtain the m-th emergency response (localization) algorithm for input indicators X; φ_1 – a display of $K_m \times X$ to the set Q.

In the process of operation of REESE during the execution of individual components (for example, operations) that ensure the performance of ACP for the selected option Q *, there are many effects on the interval T

$$G^* = \left\langle \left\{ G_k^* \right\}; k = 1,...,n_k; \varphi_2 : Z_k \times Q^* \times T \to G_k^* \right\rangle, \quad (3)$$

where G_k^* – the effect of the k-th component of the selected ERO option; n_k – umber of components for Q *; Z_k – a set that organizes the relationship between the elements of the set Q * and the results of the implementation of the individual components of the process of the ERO; φ_2 – a display of $Z_k \times Q^* \times T$ into the set G*(definition of effects).

The mapping is actually a process of determining the effects of the implementation of specific components of the selected version of the ERO. Such effects can be obtained both after field studies, and then the implementation of Z_k is a technique for obtaining empirical data, and as a result of using predefined functional dependencies

$$G_k^* = F_k^*(X, T), \quad (4)$$

which, in fact, is the law of the rescuers fulfilling the k-th component of the selected process of conducting ERO.

If the individual properties of REESE, including the set G, are particular characteristics of the system, then the efficiency of the system is normalized to the output variables X, the result of the REESE function for a certain time interval, that is, the effectiveness of the selected ERO option if the set G (for example, as a result

the use of laws governing the implementation by rescuers of individual components of the process of carrying out ERO)is determined as an ordered set

$$Y^* = \left\langle \left\{ Y_q^* \right\}; q = 1,...,n_q; Y_1^* > Y_2^* > ... > Y_{n_q}^*;\ \varphi_3 : H_q^* \times X \times G^* \to Y_q^* \right\rangle, \qquad (5)$$

where Y_q^* – q-th performance indicator; n_q – number of performance indicators; H_q^* – a set (for example, a simulation model or technical means of training rescuers) that establishes a relationship between the initial data X and the results G of the performance of the individual components in accordance with the selected ERO; φ_3 – a display of $H_q^* \times X \times G^*$ into the set Y* (for example, the determination of performance indicators as a result of simulation of ERO or conducting field simulation experiments).

Since expression (5) takes into account both technical ($X_{АСО}$), and operational ($X_{СПАС}$, $X_{АСО}$, $X_{ЧС}$, Q) components of the operation of REESE, the set Y reflects the operational-technical nature of the ERO and can be considered as a regularity of the ERO

$$Y^* = F^*(X) \qquad (6)$$

in accordance with the chosen option, since it is a pattern that reflects the functioning of a given system, establishing an objective, repeating under certain conditions relationship between the quality indicators of the system and its inherent effects. Proceeding from this, the goals of assessing the process of carrying out ERO, which is based on simulation models of its functioning, are: - to establish causal relationships between rescuers and the results of the functioning of REESE; – disclosure of patterns of rescuers performing typical components of the process of conducting ERO; - determination of the laws of the ERO, depending on the operational and technical components that characterize REESE; - clarification on the

basis of the functional dependence of such rules of the REESE organization at which the specified value of the efficiency indicator will be exceeded.

The ordering of the set Y allows us to move from (6) to a multivariate polynomial model, the development of which is based on the corresponding design of the simulation experiment. When choosing such a plan, it is necessary to take into account that the initial indicators can have a nonlinear effect on the performance indicators of the ERO and interact with each other [244]. In this case, the nonlinear influence of factors in the polynomial model can be taken into account by their quadratic representation, and the interaction effects by the corresponding coefficients in the products of the factors considered [245].

In view of the foregoing, the polynomial model for conducting ERO in a general has the form

$$\begin{gathered} Y = a_0 + a_1X_1 + ... + a_nX_n + a_{11}X_1^2 + ... + a_{nn}X_n^2 + \\ + a_{12}X_1X_2 + ... + a_{(n-1)n}X_{n-1}X_n \end{gathered}, \quad (7)$$

where $X_1,...,X_n$ – factors selected for the study that specify the initial variables.

Since a comparative assessment of the influence of the factors selected for consideration should [246] be performed in the expression (7) identical in normalized variables

$$y = b_0 + b_1x_1 + ... + b_nx_n + b_{11}x_1^2 + ... + b_{nn}x_n^2 + b_{12}x_1x_2 + ... + b_{(n\ \ 1)n}x_{n\ \ 1}x_n. \quad (8)$$

In this case, the statement of the problem of substantiating proposals to improve the efficiency of the functioning of REESE is specified in the task of ranking the factors x_i by the degree of their influence on the effectiveness of the ERO

$$y = b_0 + b_1 x_1 + ... + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + ... + b_{nn} x_n^2 + b_{12} x_1 x_2 + ... + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n$$
$$\Downarrow \tag{9}$$
$$\left(x^{(1)}_{i \in (1,\ n)} \geq x^{(2)}_{j \in (1,\ n;\ j \neq i)} \geq ... \geq x^{(n)}_{\gamma \in (1,\ n; \gamma \neq i \neq ... \neq j)} \right).$$

This can be done by analyzing the corresponding one-factor models $y = f_i(x_i)$, obtained by stabilizing other $x_{j \neq i}$ factors.

10.2 Acoustic safety as an integral part of the assessment of the quality and life safety of the population of urban areas

За своїм внутрішнім станом, людина завжди бажає зробити своє існування максимально комфортним та безпечним, для чого змінює природне навколишнє середовище на штучне створюючи урбанізовані території, де й проходить основна частина її життєдіяльності. Але тут створюються екстремальні режими багатьох умов, які можуть становити загрозу для безпечного та комфортного існування людини. В першу чергу це риск для здоров'я людини, яке є головним критерієм як екологічної безпеки, так й якості та безпеки життєдіяльності населення на урбанізованих територіях.

На якість та безпеку життєдіяльності населення значно впливає велика кількість факторів таких як: стан будинків та систем їхнього життєзабезпечення (наявність та стан систем теплогазопостачання, електропостачання та інш.), наявність об'єктів комунально-побутового обслуговування, соціальної інфраструктури, транспорту, елементів благоустрою та озеленення, екологічний стан житлових територій та інші фактори. Серед факторів забруднення житлового середовищ значний вплив на рівень екологічної безпеки населення, що мешкає на житлових територіях прилеглих до вулиць та доріг з інтенсивним рухом транспорту, має шумове забруднення, яке сьогодні, є одним з найбільш небезпечних фізичних факторів забруднення навколишнього середовища [247, 248, 249, 250].

Шум згубно діє на організм людини, вражає органи слуху, центральну нервову систему, викликає дратівливість, головні болі, порушує відпочинок і сон, є прямою або непрямою причиною багатьох захворювань. Тривалий і сильний шум як на виробництві, так і в побуті негативно впливає на працездатність людини, рівень її творчої діяльності, продуктивності якості і безпеки праці [251, 252]. Так збільшення шуму на 10 дБ зменшує продуктивність праці на 5-8%, для збереження продуктивності, при підвищенні шуму з 70 до 90 дБ, робітник повинен затратити на 10-20% більше фізичних і нервових зусиль [253].

Місто Дніпро та територія Дніпровського району є важним транспортним вузлом Дніпропетровської області України, де проходять автошляхи різних категорій. Більшість автомобільних шляхів проходять через населені пункти, являючись для них одним з головних джерел шумового забруднення. Для визначення характеристик транспортних потоків були проведені натурні вимірювання інтенсивності, складу та швидкості руху транспорту, а також рівня шуму в м. Підгороднє, с. Братське, с. Партизанське, що розташовані відповідно на автодорогах Е-50 (М-04), Н-08, Н-31 (Р-52). Місця вимірювання характеристик транспортних потоків показані на рис. 74.

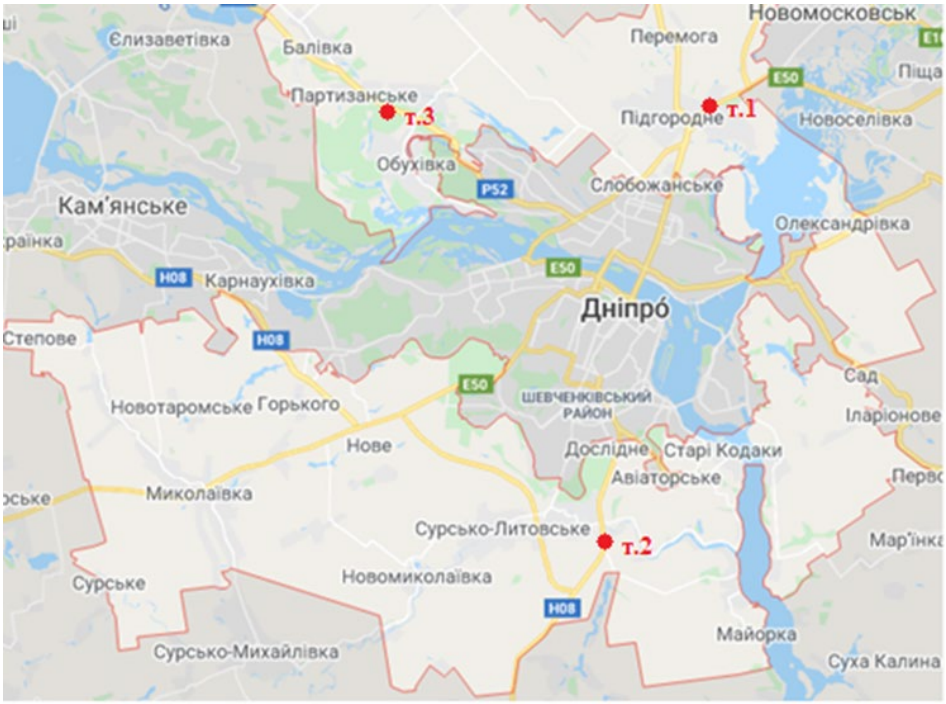


Рисунок 74. Місця вимірювання характеристик транспортних потоків.

Вимірювання проводились в період максимальної загрузки автодоріг, результати наведені в табл. 23.

Таблиця 23.

Рівні шумового забруднення на дорогах Е-50 (М-04), Н-08 та Н-31 (Р-52)

Авто-дорога	Населений пункт	Швидкість руху транспорту, км/год.	Інтенсивність руху транспорту, авто/год.	Рівень шуму на автодорозі, дБА
Е-50	м. Підгороднє	70	1635	76,8
Н-08	с. Братське	55	1440	68,4
Н-31	с. Партизанське	60	1020	66,2

З урахуванням відстані між джерелом шуму (автодорога) та житловою забудовою, яка в розглянутих населених пунктах складає від 12 до 50 метрів, перевищення еквівалентного рівня шуму на лінії житлової забудови над нормативним (згідно з ДБН В.1.1-31:2013 «Захист території, будинків і споруд від шуму», зоною акустичного дискомфорту є територія з рівнем шуму вище 55 дБА для денного часу доби) складає 6-16 дБА. Таким чином будинки першого ряду забудови знаходяться в зоні акустичного дискомфорту, вони майже не захищені від транспортного шуму.

Для забезпечення акустичної безпеки необхідно використовувати різні заходи щодо недопущення шкідливого акустичного впливу на здоров'я людини в населених пунктах [254, 255].

Заходи, щодо забезпечення акустичного комфорту в районах житлової забудови, можуть розроблятися у трьох напрямках:

1) зниження шуму в джерелі його утворення (зниження швидкостей руху автомобілів, зменшення затримок на перехрестях та їхнє раціональне розташування, скорочення інтенсивності руху, будівництво «акустично тихих» дорожніх покрить);

2) зниження шуму на шляху його поширення від джерела до житлової забудови (застосування шумозахисних смуг зелених насаджень та споруджень, що екранують: виїмки, стінки, земляні вали, будинки різного призначення);

3) зниження шуму в житловій забудові (шумозахисні будинки і шумозахисні вікна).

Враховуючи обмеженість вільного місця одним з найбільш ефективних заходів по досягненню рівня акустичної безпеки в м. Підгороднє, с. Братське та с. Партизанське являється використання шумозахисного екрану. Орієнтовна акустична ефективність екрана-стінки наведено у табл. 24 [255].

Таблиця 24.

Орієнтовна акустична ефективність екрана-стінки

Відстань між екраном і розрахунковою точкою, м	10			20			50			100		
Висота екрана $H_{екр}$, м	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6
Зниження рівня звуку, дБА	7	12	16	7	12	15	7	11	14	7	11	13

Можливі заходи, щодо зниження шумового забруднення на рівні житлової забудови для м. Підгороднє, с. Братське та с. Партизанське наведені в табл. 25.

Таблиця 25.

Заходи, щодо зниження шумового забруднення на рівні житлової забудови

Найменування населеного пункту	Перевищення рівня шуму над нормативним рівнем, дБА	Запропоновані заходи, щодо покращення ситуації
м. Підгороднє	16	Екран Н=6 м
с. Братське	13	Екран Н=6 м
с. Партизанське	6	Екран Н=2 м

Шумозахисні екрани пропонуємо використовувати як прямі так й Г-образні з кутом нахилу 60° верхньої частини та розміщенням в ній в якості елементу шумозахисту фотоелектричних панелей. Накопичена протягом дня

енергія може використовуватись для освітлення автодороги та території населеного пункту. Наприклад для м. Підгороднє загальна кількість фотоелектричних панелей яка може бути встановлена на шумозахисних екранах протяжністю близько 4 кілометрів, може складати 1334 шт., які можуть виробляти приблизно 311410 кВт-годин на рік [256].

Проектування нових житлових територій, або реконструкція існуючих повинні супроводжуватися визначенням рівня акустичного навантаження з розрахунком соціально-економічного збитку від шумового забруднення та визначення економічного ефекту від запроваджених шумозахисних заходів.

Таким чином, значне техногенне навантаження на людину та середовище його мешкання веде до нервового перевантаження і втоми організму. Втомлена людина починає допускати набагато більше помилок, які можуть призвести до травми або навіть до її загибелі. Забезпечивши акустичну безпеку населених місць ми зменшимо техногенне навантаження на мешканців, покращимо загальний рівень якості та безпеки життєдіяльності населення. Тому дуже важливим є максимально захистити населення від шкідливого впливу шуму в сформованій забудові, а також обов'язково прогнозувати очікувані рівні звуку на майбутнє, гарантувати акустичний комфорт в житловому середовищі.

10.3 Urban-analysis analysis of the formation of a "smart city" on the territory of a large municipal formation on the example of some cities of the world

Колективом науковців кафедри архітектури Придніпровської державної академії будівництва і архітектури в м. Дніпро (Україна) розпочато велику дослідницьку роботу по розробці методики оцінки містобудівних властивостей міст за різними факторами з метою виявлення їх відповідності вимогам «Smart City». Опубліковано дві статті [258, 259], які поклали початок оприлюднення результатів цієї роботи. Нами проведено аналіз сучасних технологій Smart City, теоретичних, методологічних та практичних проблеми і напрямків удосконалення систем розвитку концепції «Smart City».

Мета містобудівного аналізу становлення «Smart City» - проведення комплексної екологічної оцінки території.

Для досягнення поставленої мети в рамках проведення містобудівного аналізу авторами виконане наступне: а) виявленні класи соціальних, природних, антропогенних і техногенних факторів екологічної небезпеки (табл. 26 [259]); б) визначенні масштаби і інтенсивність прояву всіх зазначених факторів (загалом 31 фактор) на конкретній території за допомогою розробленої інноваційної методики.

Предмет дослідження: 13 міст світу (див. табл. 26), муніципальна влада яких визначила термін переходу на рівень розвитку Smart City.

Об'єкт дослідження: інтегральний показник рівня екологічної безпеки (*К)* для окремих класів, який визначено за формулою:

$$K = \frac{2 \times \sum_{i=1}^{n} \delta_i \times \omega_i}{n \times (n-1)}$$

де δ_i – бальна оцінка *i*-го фактора; ω_i – вагове значення *i*-го фактора; *n* – кількість факторів у групі (категорії).

Таблиця 26

Перелік основних міст світу з датою переходу до стану Smart City

№ п\п	Місто, країна	Рік	№ п\п	Місто, країна	Рік
1	Осло, Норвегія	2020	8	Сонгдо, Південна Корея	2020
2	Цюріх, Швейцарія	2030	9	Гельсінкі, Фінляндія	2020
3	Женева, Швейцарія	2030	10	Більбао, Іспанія	2024
4	Дюссельдорф, Німеччина	2020	11	Барселона, Іспанія	2015
5	Сінгапур, Сінгапур	2020	12	Бангкок, Таїланд	2020
6	Копенгаген, Данія	2025	13	Тайбей, Тайвань	2020
7	Окленд, Нова Зеландія	2025			

При розробці інноваційного методу комплексної екологічної оцінки території використовувались діючі нормативні документи Україні [260-263]. Теоретичні дослідження з комплексної екологічної оцінки території, яка полягає у виявленні природних і антропогенних факторів екологічної небезпеки і визначенні масштабів і інтенсивності їхнього прояву на конкретній території за допомогою розробленої нами інноваційної методики, базувались на застосуванні методів часткового парного порівняння та експертного оцінювання [264, 265]. Згадані методи часткового парного порівняння та експертного оцінювання вдало застосовані при розробленні загальних положень методології оцінювання стану екологічної безпеки житлового приміщення для первинного і вторинного ринку продажі [266].

Послідовність дій із визначення чисельного значення показника екологічної безпеки складається з наступних етапів:

1) вибір і визначення кількості факторів для даного класу;

2) бальна оцінки факторів;

3) ієрархизація факторів в межах групи;

4) визначення інтегрального показника екологічної безпеки (категорія, або класах якості життя 83-00 «Антропогенні фактори» і 81-00 «Соціальний розвиток»).

Загальна система якості і безпеки життєдіяльності населення, запропонована авторами складається з семи областей благополуччя (рис. 75).

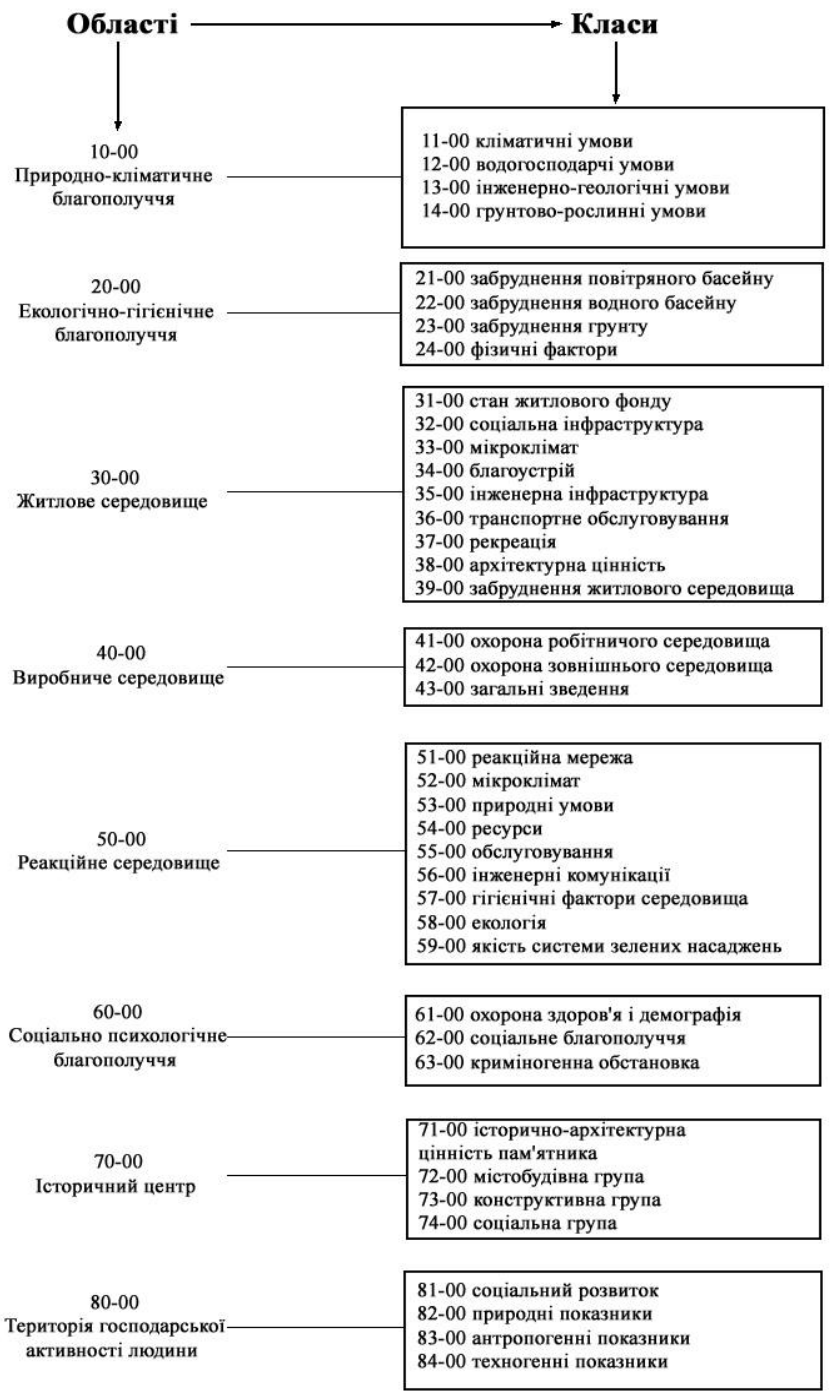


Рисунок 75 Структура загальної системи якості і безпеки життєдіяльності населення (ЯБЖДН)

Розрахунки інтегрального показника для класів благополуччя 81-00 «Соціальний розвиток» та 83-00 «Антропогенні фактори» представлено в табл. 27 і табл. 28.

Процес визначення інтегрального показника якості для класів благополуччя 82-00 «Природні показники» та 84-00 «Техногенні показники» зараз знаходиться в

стадії розробки кваліметричних (оціночних) таблиць. Результати для цих класів благополуччя будуть оприлюднені в наступних публікаціях.

Таблиця 27

Визначення інтегрального показника якості для класу благополуччя 81-00 «Соціальний розвиток»

№	Містоор	Людський розвиток		Соціально - економічне освоєння території		Природний рух населення		Демографічна ситуація		Загальна захворюваність населення		Здоров'я населення		Бідність населення		Інтегральний показник якості
		δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	**$K_{інт}$**
1	Осло	2,5	4	2,5	4	4	3	3	4	3	2	3	3	3	2	**3,095**
2	Цюріх	2,5	4	2,5	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	2	**3,119**
3	Сонгдо	2,5	4	2,5	4	4	3	3	2	3	2	3	3	3	1	2,667
4	Барселона	2,5	4	2,5	4	4	1	3	3	3	3	3	4	3	1	2,714
5	Сінгапур	2,5	4	2,5	4	4	1	3	1	3	3	3	3	3	1	2,286
6	Женева	2,5	4	2,5	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	2	**3,119**
7	Копенгаген	2,5	4	2,5	4	4	3	3	4	3	2	3	2	3	2	2,952
8	Окленд	2,5	4	2,5	4	4	4	3	4	3	2	3	3	3	1	**3,143**
9	Тайбей	2,5	4	2,5	4	4	3	3	2	3	2	3	3	3	1	2,667
10	Гельсінкі	2,5	4	2,5	4	4	3	3	4	3	2	3	3	3	2	**3,095**
11	Більбао	2,5	4	2,5	4	4	2	3	3	3	3	3	4	3	1	2,905
12	Дюссельдорф	2,5	4	2,5	4	4	1	3	4	3	2	3	1	3	2	2,429
13	Бангкок	2,5	4	2,5	**2**	4	3	3	2	3	2	3	1	3	2	2,286

Висновки. 1) Практичне застосування розробленої нами методики оцінки екологічної безпеки по 13 потенційним містам Smart City для класу благополуччя 81-00 «Соціальний розвиток» дає наступні результати:

а) найвищі значення інтегрального показника якості спрогнозовано для міст: Женева і Цюріх ($K_{інт}$ = 3,119);

б) найнижче значення інтегрального показника якості спрогнозовано для міста Бангкок ($K_{інт}$ = 2,286).

2) Аналогічні розрахунки для класу благополуччя 83-00 «Антропогенні фактори» дає можливість констатувати наступні ствердження:

а) найвищі значення інтегрального показника якості спрогнозовано для міст: Женева і Цюріх (відповідно $К_{інт}$ = 3,40 та 3,57);

б) найнижче значення інтегрального показника якості спрогнозовано для міста Бангкок ($К_{інт}$ = 1,83).

3) Місто Бангкок за результатами визначення інтегрального показника якості $К_{інт}$ для двох класів благополуччя 81-00 «Соціальний розвиток» і 83-00 «Антропогенні фактори» має найменші шанси вийти на рівень Smart City до кінця 2020 року

Таблиця 28

Визначення інтегрального показника якості для класу благополуччя 83-00 «Антропогенні фактори»

№	Місто	Антропогенний ризик		Радіаційна забрудненість території		Забрудненість поверхневих вод		Забрудненість підземних вод		Забрудненість природного середовища		Урбанізованість території		Антропогенна змінність ландшафтів		Забрудненість атмосферного повітря		Надзвичайні ситуації		Інтегральний показник якості
		δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	δ_i	ω_i	$К_{інт}$
1	Тайбей	2	3	3	4	5	1	7,5	2	4,5	1	7,5	3	1,5	3	1,5	1	2,5	4	**2,25**
2	Копенгаген	2	2	3	4	5	4	7,5	4	4,5	3	7,5	2	1,5	1	1,5	4	2,5	3	**3,04**
3	Гельсінкі	2	1	3	4	5	4	7,5	4	4,5	4	7,5	2	1,5	2	1,5	4	2,5	4	**3,22**
4	Дюссельдорф	2	2	3	4	5	3	7,5	3	4,5	3	7,5	2	1,5	2	1,5	3	2,5	3	**2,69**
5	Окленд	2	2	3	4	5	2	7,5	2	4,5	3	7,5	2	1,5	3	1,5	3	2,5	1	**2,25**
6	Осло	2	2	3	4	5	4	7,5	4	4,5	3	7,5	2	1,5	3	1,5	3	2,5	3	**3,08**
7	Сінгапур	2	2	3	3	5	3	7,5	3	4,5	3	7,5	2	1,5	3	1,5	3	2,5	4	**2,72**
8	Сонгдо	2	2	3	4	5	3	7,5	3	4,5	1	7,5	2	1,5	2	1,5	1	2,5	3	**2,36**
9	Більбао	2	2	3	4	5	3	7,5	4	4,5	3	7,5	2	1,5	2	1,5	3	2,5	3	**2,90**
10	Барселона	2	2	3	4	5	2	7,5	2	4,5	3	7,5	2	1,5	2	1,5	1	2,5	3	**2,26**
11	Цюріх	2	2	3	4	5	4	7,5	4	4,5	4	7,5	3	1,5	4	1,5	4	2,5	4	**3,57**
12	Женева	2	2	3	4	5	4	7,5	4	4,5	3	7,5	3	1,5	4	1,5	3	2,5	4	**3,40**
13	Бангкок	2	3	3	4	5	1	7,5	2	4,5	1	7,5	2	1,5	3	1,5	1	2,5	1	**1,83**

10.4 Monitoring of atmospheric air pollution of the territory of the military educational institution by the method of lichenindication

Серед негативних наслідків антропогенного впливу на навколишнє середовище дедалі більшого розмаху набуває забруднення атмосфери, водоймищ, деградація ґрунтового покрову, знищення запасів біологічних ресурсів, що призводить до порушення стабільності екологічних систем. Слід

відмітити, що значні масштаби негативного впливу військової діяльності під час військових конфліктів і проведення планових навчань завдають великої шкоди на екологічну систему в цілому.

Екологічний моніторинг довкілля є сучасною формою реалізації процесів екологічної діяльності за допомогою засобів інформатизації. Моніторинг забезпечує регулярну оцінку і прогнозування стану середовища життєдіяльності суспільства та умов функціонування екосистем для прийняття управлінських рішень щодо екологічної безпеки, збереження навколишнього середовища та раціонального природокористування.

Державна прикордонна служба України (ДПСУ) структурно входить в загальнодержавну правоохоронну організацію, при цьому її повсякденна оперативно-службова діяльність постійно пов’язана з вирішенням екологічних питань. Виходячи з цього, в сучасних умовах питання організації екологічної безпеки і охорони навколишнього природного середовища в органах та підрозділах ДПСУ піднімаються на новий більш значний і суттєвий рівень вимог і завдань. Діяльність особового складу ДПСУ призводить до негативного впливу на навколишнє природне середовище, а саме викидів у повітря та скидів у воду і землю шкідливих хімічних речовини, утворення шуму та інших фізичних факторів впливу.

Під впливом діяльності людини на Землі, пов’язаної із задоволенням її потреб, відбуваються поступові зміни основних елементів навколишнього природного середовища в бік погіршення умов. Загострення екологічних проблем сьогодення доводять не тільки останні дослідження вчених екологів, біологів, фізиків [267] – [270], а й створення великої кількісті міжнародних та національних організацій, рухів, об’єднань, які мають за мету збереження екології Землі. З питань екології проводяться конференції, форуми, презентації та інші заходи, що фіксується у відповідних публікаціях [271] – [276]. Незалежним центром Global Footprint Network засвідчене невтішне досягнення людством у 2011 році так званої «точки неповернення». Порівняння темпів людського споживання і здатності планети відновлювати свої ресурси

підтверджує не віртуальність «точки неповернення». Так, з досліджуваних 100 держав 80 споживають більше, ніж може дати їх власна територія [277]. Отже, людство вже не може розвиватися без екологічної орієнтації у всіх сферах життя. Стає очевидним, що здоров'я людини, як і біосфери, треба розглядати в комплексі єдиного організму, що залежить від здоров'я всіх його частин. Комплексне і своєчасне вирішення цих проблем повинне стати складовою частиною національної стратегії стійкого розвитку.

Метою роботи є дослідження стану забруднення атмосферного повітря території військового навчального закладу методом ліхеноіндикації та надання рекомендацій щодо поліпшення його стану.

Відомо, що склад повітря та його кількість - один із найважливіших, життєво необхідних екологічних чинників, від яких залежать колообіги хімічних елементів, життєдіяльність живих організмів, функціонування всієї біосфери. Забруднення атмосферного повітря пов'язане з викидами шкідливих хімічних речовин, які потрапляють у нього з найрізноманітніших джерел. Аналіз джерел забруднення навколишнього природного середовища, які розташовані у місцях дислокації прикордонних підрозділів показує, що основними об'єктами забруднення атмосферного повітря вважаються котельні, технічні засоби озброєння та автотранспорт.

Найпоширенішими речовинами, що забруднюють атмосферу, є оксиди карбону (CO та CO_2), оксид сульфуру (SO_2), оксиди нітрогену, вуглеводні, пил. Половина чадного газу, чверть оксидів нітрогену, одна п'ята вуглеводнів надходить в атмосферу з відпрацьованими газами автомобілів. За рік автомобіль у середньому викидає 297 кг оксидів карбону, 39 кг вуглеводнів, 10 кг оксидів нітрогену, 2 кг пилу, 1 кг оксиду сульфуру і 0,5 кг з'єднань свинцю [278]. Помноживши ці цифри на кількість автомобілів, які використовуються прикордонними відділами, можна уявити масштаби забруднень.

У свою чергу, забруднення атмосфери впливає і на саму людину, що призводить до зниження загального імунітету організму та підвищення вразливості організму до інфекцій, підвищення дитячої захворюваності,

поширення хронічних захворювань (бронхіту, рахіту), підвищення кількості алергічних захворювань, а також призводить до „помолодіння” хвороб.

Особливо небезпечною речовиною для організму людини, яка надходить у повітря разом з відпрацьованими газами автомобільної та спеціальної техніки, що працює на етильованому бензині, є свинець. Він потрапляє в організм людини з питною водою та завдяки рослинним і тваринним продуктам харчування. На основі експериментів, що проводились на пацюках, навіть незначна концентрація свинцю (35 мкг на 100 мл крові) може спричинити функціональні зміни в центральній нервовій системі.

Забруднення атмосферного повітря спричиняє низку негативних наслідків: парниковий ефект – глобальне потепління клімату, утворення озонових дір, зменшення прозорості атмосфери та збільшення хмарності, смог, кислотні дощі, корозія металевих конструкцій, порушення фотозахисту рослин.

Переважна кількість підприємств, в тому числі і суб'єкти органів ДПСУ, мають у своєму користуванні парк автомобілів різних типів. У зв’язку з цим, виникає необхідність розрахунку викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом для розробки заходів щодо їх зменшення на всіх рівнях планування, контролю та обліку.

Для вивчення стану повітря, води, ґрунтів, складання карт забруднення території, ведення дистанційного моніторингу використовують метод біоіндикації. Біоіндикація (лат. індикаре – вказувати, виявляти) – це оцінювання абіотичних і біотичних чинників середовища за допомогою біологічних систем.

Організми або їх угруповання, життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками середовища і можуть використовуватися для їх оцінки, називають біоіндикаторами. Ними можуть бути рослини, тварини, мікроорганізми, гриби. Метод біоіндикації враховує здатність деяких видів рослинного світу акумулювати забруднюючі речовини. Наслідки аварії на Чорнобильській АЕС були зафіксовані в Швеції за аналізом лишайників. Сигналізувати про підвищений вміст барію і стронцію в навколишньому

середовищі можуть береза і осика неприродно зеленим кольором листя. Пелюстки іван-чаю навколо родовищ урану стають білими (у нормі - рожеві), а темно-сині плоди лохини набувають білого кольору.

Певні види біоіндикаторів застосовують для визначення присутності різних забруднюючих речовин. Зокрема, озон і пероксоацетилнітрат, як обов'язкові компоненти фотохімічного смогу, визначають за появою некротичних плям на листках тютюну, шпинату, кропиви пекучої), тонконога однорічного. Для визначення забруднення важкими металами спостерігають за сливою і квасолею. Про забруднення діоксидом сульфуру свідчать зміни на ялині і люцерні, а присутність забруднення аміаком свідчать зміни на соняшнику, сірководнем – на шпинаті та горосі.

Дослідженнями доведено [279], що рослини накопичують різноманітні фенольні сполуки за різних несприятливих умов: для боротьби з листогризучими комахами, для загоєння ран, для захисту від хвороботворних бактерій. Багато фенольних сполук проявляють фітонцидний ефект (ефіри галової кислоти, що виділяються з клена, пригнічують ріст туберкульозної палички, деяких грибів і вірусів). Таким чином, накопичення рослинами фенольних сполук - захисна реакція на несприятливі умови середовища і може використовуватися як біоіндикаційна ознака.

Одним із індикаторів загального забруднення атмосферного повітря є лишайники і мохи. Лишайники - симбіотичні організми, що утворюють талом (вегетативне тіло водоростей, грибів, лишайників тощо, яке не диференційоване на органи (стебло, лист, корінь) і не має справжніх тканин) та складаються з гриба і одноклітинних водоростей. Мохи поглинають величезну кількість води. Крім того, мохи і лишайники мають антибактеріальну дію, накопичують забруднюючі речовини.

Лишайники за таломом поділяють на накипні, листуваті та кущисті. Їх використовують для визначення віку археологічних пам'яток завдяки надзвичайно повільному росту, а також для моніторингу повітря (лишайники дуже чутливі до забруднення повітря).

Лишайники поширені по всій земній кулі і чутливі до забруднення атмосферного повітря речовинами, які збільшують кислотність середовища (SO_2, O_2, HP, $HC1$), тоді як важкі метали і радіонукліди, що накопичуються на їх поверхні, для них практично нешкідливі. Завдяки цій властивості, а також тому, що їх вибагливість до чистоти повітря зростає в ряду "накипні - листуваті - кущисті", лишайники часто використовуються для біоіндикації на різних рівнях: локальному, регіональному, глобальному.

До накипних лишайників належать графіс (світло-сірого кольору) та ксанторія (жовто-оранжевого). Таломи накипних лишайників мають вигляд порохового накипу, тонкої скориночки або дрібних лусочок, можуть бути занурені в субстрат (камінь або дерево) або розташовуватися на його поверхні (рис. 76).

До листуватих лишайників належить гіпогімнія (попелясто-сірого кольору). Таломи листуватих лишайників мають одну або декілька пелюсток, зазвичай розташованих горизонтально (рис. 77).

До кущистих лишайників належать кладонія (маленький сріблясто-сірий кущик), уснея (звисаючі бородоподібні гілочки сірувато-зеленого кольору). Вони мають вигляд прямостоячих або звисаючих кущиків, які розташовуються вертикально. Талом може бути розгалужено-кущистим або мати повздовжню циліндричну, паличкоподібну форму або бути у вигляді куба. Такі лишайники, на відміну від накипних і листуватих, володіють вертикальним зростанням (рис. 78).

Рис. 76. Накипні лишайники

Рис.77. Листуваті лишайники

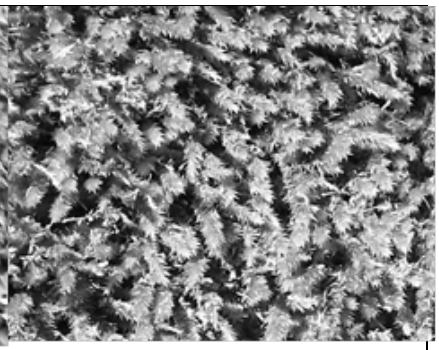


Рис. 78. Кущисті лишайники

Для визначення якості стану атмосферного повітря території Національної академії ДПСУ (НАДПСУ) були проведені дослідження забруднення повітря за допомогою лишайників (метод ліхеноіндикації). Для цього територія військового навчального закладу була розбита на певні ділянки. Ділянки були підібрані таким чином, щоб урахувати вплив викидів шкідливих речовин автотранспортом на забруднення атмосферного повітря. На кожній ділянці досліджувались 10 старих, але здорових дерев, що росли окремо один від одного. На кожному дереві визначалась присутність різних видів лишайників за кольором і формою талому.

Для оцінки ступеня покриття деревного стовбура лишайником на висоті 130-150 см на найбільш вкриту лишайниками частину кори дерева накладали рамку (20х20 см) та візуально визначали, який відсоток загальної площі рамки займає певний вид лишайнику. За наявністю на стовбурах дерев різних видів лишайників визначався ступінь забруднення повітря.

Для оцінки ступеня забруднення повітря на досліджуваній території використовували критерії, які наведені в роботі [280]. Результати дослідження забруднення атмосферного повітря представлені у табл. 29.

Таблиця 29

Забруднення повітря на різних ділянках території НАДПСУ

Номер ділянки	Розташування ділянки	Вид автотранспорту. Інтенсивність руху, шт/год					Відсоток покриття дерев лишайниками, %				Ступінь забруднення повітря
		легкові автомобілі	вантажності легкої	вантажності середньої	вантажності важкої	автобуси	кущисті	листуваті	накипні	всього	
1	10 м від магістральної дороги	400	36	192	20	172	3	13	35	51	немає
2	7 м від дороги з однобічною забудовою	180	24	104	0	12	5	23	40	68	немає

3	4 м від магістральної дороги	400	36	192	20	172	0	0	35	35	середнє забруднення
4	біля спортивного майданчика	-	-	-	-	-	10	21	35	61	немає
5	біля стадіону	-	-	-	-	-	3	8	39	50	немає
6	вдовж автомобільної стоянки	180	24	104	0	12	19	15	27	61	немає

Наявність та відсоток покриття дерев лишайниками на ділянках території НАДПСУ був різним, що відповідало певному ступеню забруднення повітря. Сильного забруднення (лишайникової пустелі) виявлено не було. Середнє забруднення, що визначалося відсутністю листуватих і кущистих лишайників спостерігалося на ділянці, яка була розташована на відстані 4 м від магістральної дороги. Найменш забруднене повітря спостерігалося на відстані 7 м від дороги з однобічною забудовою. На інших досліджуваних ділянках спостерігалася наявність усіх трьох видів лишайників, що свідчило про відсутність забруднення атмосферного повітря.

Необхідно зазначити, що метод ліхеноіндикації дозволив без спеціальних технічних засобів оцінити стан атмосферного повітря на окремих ділянках території військового навчального закладу.

Достовірність цього методу підтверджують дослідження ступеня забруднення атмосферного повітря з урахуванням викидів оксиду карбону від різних видів автотранспорту. Використана методика (за концентрацією *CO*) [280] дозволила розрахувати ступінь забруднення атмосферного повітря на висоті людського зросту.

Під час проведення експерименту оцінювалась інтенсивність руху автомобільного транспорту, який пересувався на досліджуваних ділянках доріг

навколо території НАДПСУ. За отриманими результатами спостережень, вздовж магістральної вулиці інтенсивність руху легкових автомобілів склала майже 53% від загального потоку автомобілів, які проїжджають біля навчального закладу, потік автомобілів середньої вантажності – більше 24 %; автобусів – майже 22 %. Автомобілі важкої вантажності спостерігалися тільки на магістральній дорозі. Значно менша завантаженість доріг з однобічною забудовою та вздовж автомобільної стоянки: інтенсивність легкових автомобілів склала біля 23 %; автомобілів середньої вантажності – біля 13%; автобусів – біля 1,5 %.

Відомо, що ступінь забруднення повітря автотранспортом залежить не лише від інтенсивності руху, вантажності машин, кількості та характеру викидів, а й типу забудови, рельєфу місцевості, напряму вітру, вологості й температури повітря. Тому всі ці особливості нами були враховані. Так, наприклад нахил доріг визначали за допомогою екліметра, швидкість вітру - анемометром, вологість повітря - психрометром. Впливи різних чинників для визначення концентрації *CO* враховані у наведеній формулі:

$$K_{co} = \left(A + 0{,}01N \cdot K_m\right) \cdot K_a \cdot K_н \cdot K_c \cdot K_в \cdot K_п \ , \qquad (1)$$

де A - фонове забруднення атмосферного повітря (A = 0,5 *мг/м*^{3}); N - сумарна інтенсивність руху автомобілів на ділянці вулиці (*шт./год*); K_m - коефіцієнт токсичності автомобілів за викидами в повітря *CO*; K_a - коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості; $K_н$ - коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря оксидом карбону, залежно від величини поздовжнього нахилу; K_c - коефіцієнт, що враховує швидкість вітру; $K_в$ - коефіцієнт, що враховує вологість повітря; $K_п$ - коефіцієнт збільшення забрудненості атмосферного повітря оксидом карбону біля перехресть.

Значення вище наведених коефіцієнтів визначали за таблицями, представленими в роботі [277]. Обчислення концентрації оксиду карбону на певних ділянках біля автомобільних доріг проводили за таких метеорологічних умов: швидкість вітру - 2 *м/с*, відносна вологість повітря - 70%.

Концентрація *CO* від різних видів автотранспорту біля магістральної дороги розрахована за формулою (1) і становить 66,09 *мг/м*^{3} (фонова концентрація 0,5 *мг/м*^{3}), а біля дороги з однобічною забудовою – 12,7 *мг/м*^{3}. На цій ділянці спостерігали наявність усіх видів лишайників на відміну від ділянки біля магістральної дороги. Результати дослідження наведені в табл. 30.

Таблиця 30

Визначення ступеню забруднення атмосферного повітря (за концентрацією CO)

Номер ділянки	Розташування ділянки	Концентрація викидів оксиду сульфуру K_{CO} для різних видів автотранспорту, мг/м^3					Сумарне забруднення K_{CO}, мг/м^3
		легкові автомобілі	легкої вантажності	середньої вантажності	важкої вантажності	автобус	
3	4 м від магістральної дороги	10,8	6,54	26,67	8,51	13,57	66,09
2	7 м від дороги з однобічною забудовою	3,68	2,37	3,57	-	3,08	12,7
6	Вдовж автомобільної стоянки	3,68	2,37	3,57	-	3,08	12,7

Слід відмітити, що підвищена забрудненість атмосферного повітря біля стадіону (ступінь покриття лишайниками 50%) пов’язана з будівельними роботами та заміною покриття стадіону, що проводилися восени минулого року.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що навколо території навчального закладу інтенсивність руху автотранспорту на п’яти з шести досліджуваних ділянок не призводить до зникнення лишайників. Однак, відсутність кущових лишайників на стовбурах дерев, що ростуть на відстані 4 м

від магістральної дороги, свідчить про підвищену присутність забруднюючих речовин. Тому збільшення інтенсивності руху на цій ділянці може призвести ще до більш негативного впливу на навколишнє середовище.

На основі проведених досліджень зазначаємо, що першочерговими заходами, які необхідно дотримуватися для підтримання існуючої екологічної обстановки та стабілізації стану повітряного басейну є: підвищення ефективності діяльності щодо охорони атмосфери за рахунок зменшення викидів забруднюючих речовин автотранспортом та промисловими підприємствами міста.

У подальших дослідженнях слід враховувати можливість використання методу ліхеноіндикації не тільки на деревах, адже крім дерев можна досліджувати обростання лишайниками каміння, стін споруд тощо. Такі дослідження є доцільними в місцях відсутності дерев.

10.5 Laboratory studies of the reliability of emergency prevention mathematical model with the threat of impulse release of hazardous chemicals

To verify the reliability of the developed mathematical model for the prevention of emergencies associated with the threat of pulsed release of hazardous chemicals [281] and the methodology developed on its basis for the prevention of emergencies associated with the threat of pulsed emission of hazardous chemicals at facilities with a large stay of people a laboratory setup was created (fig. 1). The basis of the hypothesis is that using a two-level dome-shaped protective device with a forced thermal destruction system for a compact device for impulse destruction of a hazardous chemical substance. It is possible to ensure the safety of rescuers and civilians when an explosive component is triggered. Also cyclically carry out preliminary degassing of a danger volume of a hazardous chemical. A protective device weighing 120 kg and a diameter of 90 cm for transportation and destruction of explosive objects [282] as the 1st level of the dome-shaped protective device (Fig. 1) has been used. A rubber cover as a 2nd level of protection has been used.

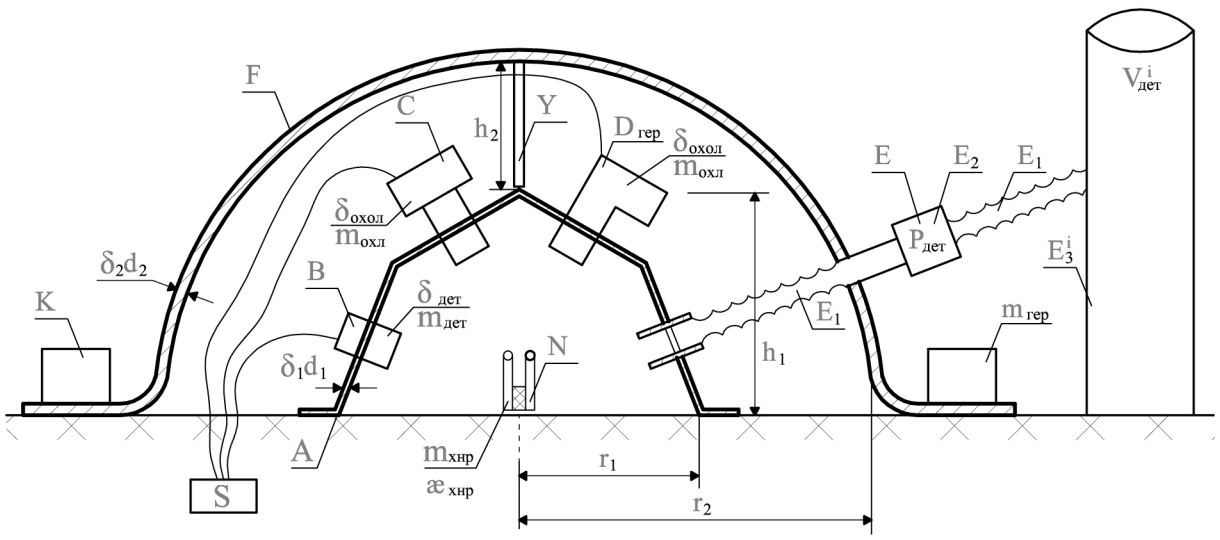


Figure 79. The scheme of a laboratory setup for studying the reliability of a mathematical model for the prevention of emergency situations associated with the threat of pulsed release hazardous chemicals

In Fig. 79, the following elements have been identified: N – small-sized device of impulse damage by hazardous chemicals by mass $m_{хнр}$ and integral factor of damage – $æ_{хнр}$; A – 1-ndlevel of the dome-shaped protective device with a thickness of d and density ρ_1; F – 2 level of the dome-shaped protective device with a thickness of d_2 and densitymaterial ρ_2; B – destructor container with mass $m_{дестр}$ and destructor materialdensity $\rho_{дестр}$; C – container with an oxidizing mass of $m_{ок}$ and oxidizing density $(\rho_{ок})$; D – the container of the coolant by mass $m_{охл}$ and densityof the coolant $\rho_{охл}$; Y – T–shaped thermally stable stop with length h_2; K – passive load to ensure tightness of the 2-nd level of the dome-shaped device weighing $m_{гер}$; S – the control unit of the automatic system for the destruction of a compact device of impulse destruction by blast chemicals and the system of loop connections with the elements of destruction activation containers B, oxidizer C and coolant D; E – forced ventilation system which is part of it E_1 – corrugatedjoints, E_2 – compressor with power $\rho_{дес}$, $E_з^i$ – the set of interchangeable sealed tanks with a total volume $\sum_{j=1}^{m} V_{десст}^{j}$, which was defined as

$$\sum_{j=1}^{m} V_{дест}^{j} > V_{дест}^{æ_{хнр}}\left(m_{нхр}; æ_{нхр}\right), \quad (1)$$

where $V_{дест}^{æ_{хнр}}\left(m_{хнр}; æ_{хнр}\right)$ – the volume of the predicted amount of destruction products of a blast chemical mass $m_{хнр}$ andintegral factor of blast $æ_{хнр}$; h_1 (height) and r_1 (radius) – geometric dimensions of the level 1 dome-shaped protective device; r_2 – the geometric dimension (radius) of products destruction zone localization of a compact device of impulse damage by hazardous chemicals.

During experimental fire tests, the destruction of a hazardous chemical using a propane burner (flame temperature 1400°C) has been simulated. The worst case was considered when the flame was directed at one of the side walls of the compact device for impulse destruction of a hazardous chemical substanceat a right angle. Further, with an interval of30 s, the temperature of the outer wall, to which the flame was directed from the inside, was used to measure the localization of the first level lesion elements.

This made it possible to compare the obtained experimental results with those calculated using the standard software package for solving the problems of heat exchange Flow Vision [283]. This was in accordance with the mathematical model [1] of the outer surface of the first level of the dome-shaped protective device with mass-dimensional characteristics: diameter 90 cm, thickness of steel walls 20 and 10 mm, weight 130 kg.

In comparison, it was taken into account that the optical pyrometer EOP-51 with measurement error of 2.5%. Experimental results in the range of ±5% relative to those calculated using the mathematical model of emergency preventionrelated to the threat of impulse release of hazardous chemicals have been used.

Comparison of the results of fire tests with those calculated according to the mathematical model of emergency prevention related to the threat of impulse release

of hazardous chemicals showed (Fig. 80) that the experimental results fit into the confidence interval calculated with a reliability of 0.95.

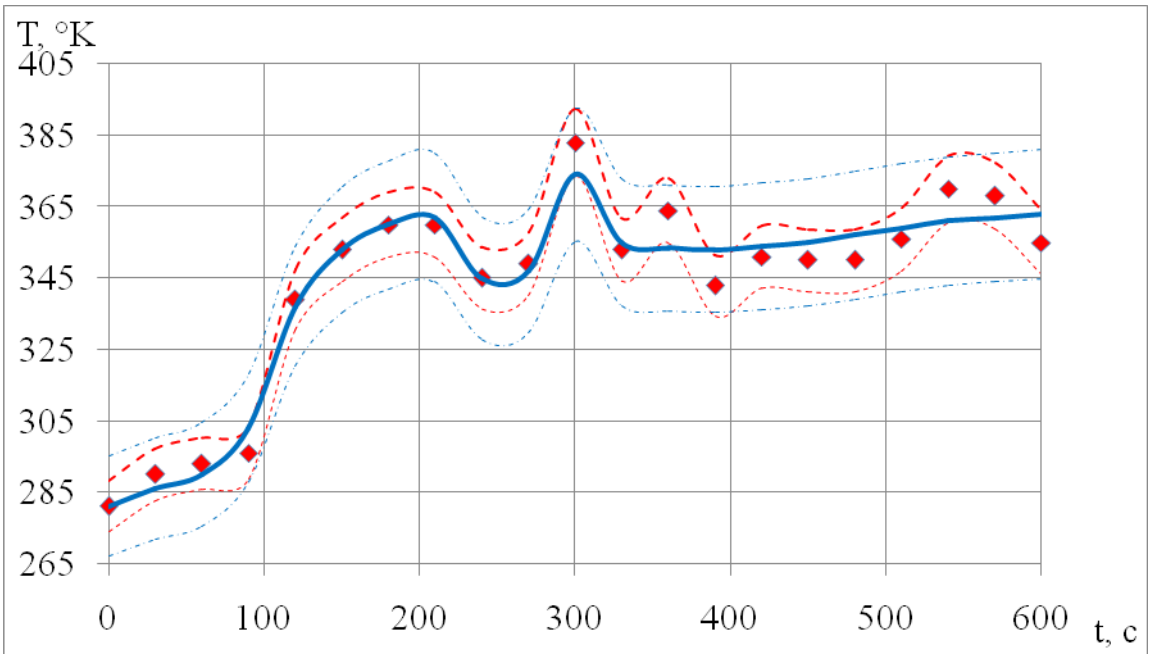


Figure80. The dependence of the temperature of the outer surface 1 of the level of the dome-shaped protective device on the time of the destructor impact (propane burner)

(—— – calculated dependence; ♦ – results of fire tests;

---- – ±2,5% boundary of experimental results;

– - – - – ±5% boundary of calculatedresults)

The use of nitrile butadiene rubber NBP, butadiene rubber IIR, styrene butadiene rubber SBR, carboxylated nitrile XNBP or chloropyrene rubber CR as a coating of the second level of the protective device during the destruction of the hazardous chemical for more than 9 minutes can lead to a problem with their repeated use. This is caused by the upper temperature limit for the use of these materials. It will be slightly lower than the temperature of the outer surface of the first level of the dome-shaped protective device. This confirmed the analysis of the results. Coating the second level of the protective device with natural rubber NBR and polyurethane PU, AU, EU when using a propane burner as a destructor will not be practical.

Similarly, the second series of experimental fire tests was carried out. At this stage, the destruction of a hazardous chemical substance was simulated using an acetylene burner (flame temperature 1800°C). And in this case, the experimental results fit (Fig. 81) into the confidence interval calculated with a reliability of 0.95.

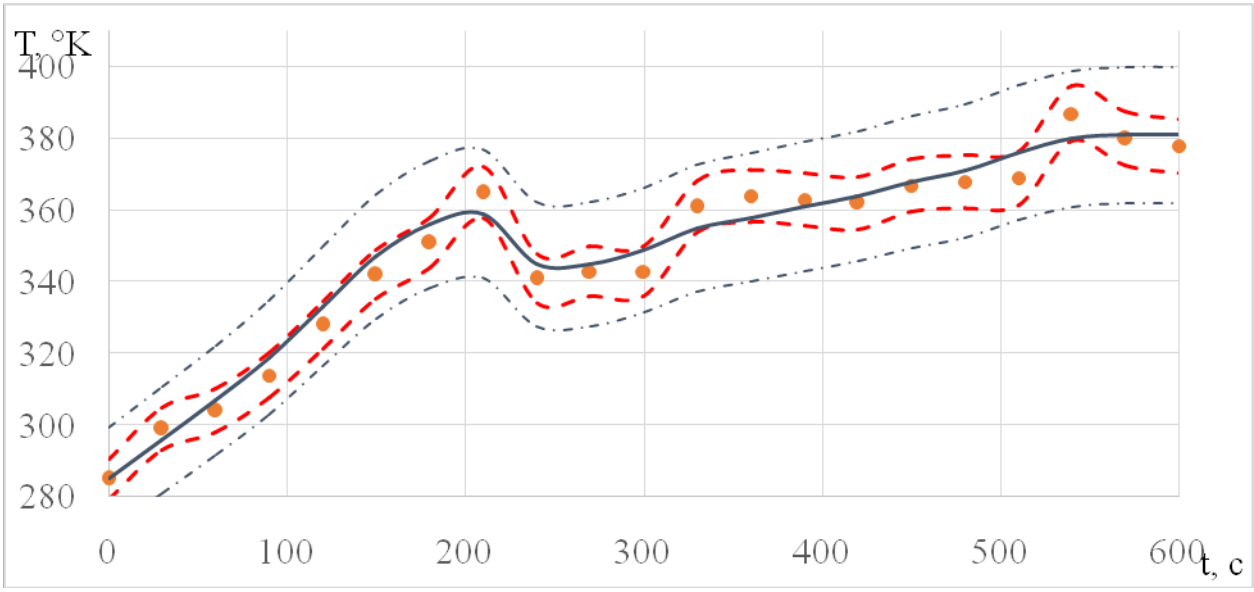


Figure 81. The dependence of the temperature outer surface of the first level of the dome-shaped protective device on the time of the destructor impact in the form of an acetylene burner.

According to (Fig. 81), it is impractical to use the following as a cover for the second level of the sealed protection device in the case of a destructor in the form of acetylene burner (torch): butadiene nitrile caoutchouc NBP, butadiene caoutchouc IIR, butadiene styrene caoutchouc SBR, carboxylationnitrile XNBP, chloroprene caoutchouc CR, NBR natural caoutchouc and PU, AU, EU polyurethane.

Thus, the obtained experimental results confirmed the reliability of the mathematical model developed in [281]. The model allows to choose the coating material of the second level of the protective device according to the results of calculating the temperature of the outer surface of the first level protective device of the dome-shaped. Also, in the vast majority of cases, a two-level dome-shaped protective device for localizing thermal destruction effects of a compact device for

impulse damage by hazardous chemicals without the T-shaped thermally stable stop allows to use (pos. Y in Fig. 79).

Thus, the results of experimental fire research of the temperature of the outer surface of the first level of the dome-shaped protective device in the case of forced destruction hazardous chemicals by propan and acetylene burners are included in the confidence interval. It has a reliability of 0.95 in relation to the calculated using the developed mathematical model for the prevention of emergency situations with the threat of pulsed release of hazardous chemicals has been determined.

SECTION 11.
MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING

11.1 Development a blank production technology in a structural model of a life cycle of a part taking into account mechanics of technological inheritability

1. Introduction

The quality parameters of the mechanical engineering parts are characterized by the dimensional accuracy, quality parameters of surface layer, operational characteristics and reliability indicators. Providing of the quality of parts is the most important problem of mechanical engineering [284-286].

The quality parameters ensure operating function of separate parts and the machine as a whole. Geometrical dimensions are the priority for some engineering objects and the parameters of surface layer are important for another. The inaccuracies of the machining and assemblyare regulated bythe degree of conformity of a certain quality indicator. The degree of conformity of the quality parameters is limited by the values of the corresponding tolerances[287,288].

The values of inaccuracies are close related with the structure of technological processes of machining of parts and assembly of machines. In general, the providing of the granted quality of the part is a wide concept, which is closely related with the sub-stages and stages of the Life Cycle of a Part (see Figure 82). Therefore the technological process has a direct and critical influence on dimensional accuracy, quality parameters of surface layer of parts, their operational characteristics and thus on reliability indicators [289-291].

In modern mechanical engineering it is important to establish the physical nature of the occurrence of the inaccuracies, along with the definition of their limit values. Therefore, it is expedient to analyse the manufacturing process of a part in time from the position of technological inheritability [292,293].

The technological inheritability is a process of properties transfer from previous to the following operations. The technological inheritance is accumulation of the

properties in parts during their processing. The inherited information accumulated in the material of parts and their surface layers in the form of quality indicators plays a vital role in the transfer of these indicators [292].

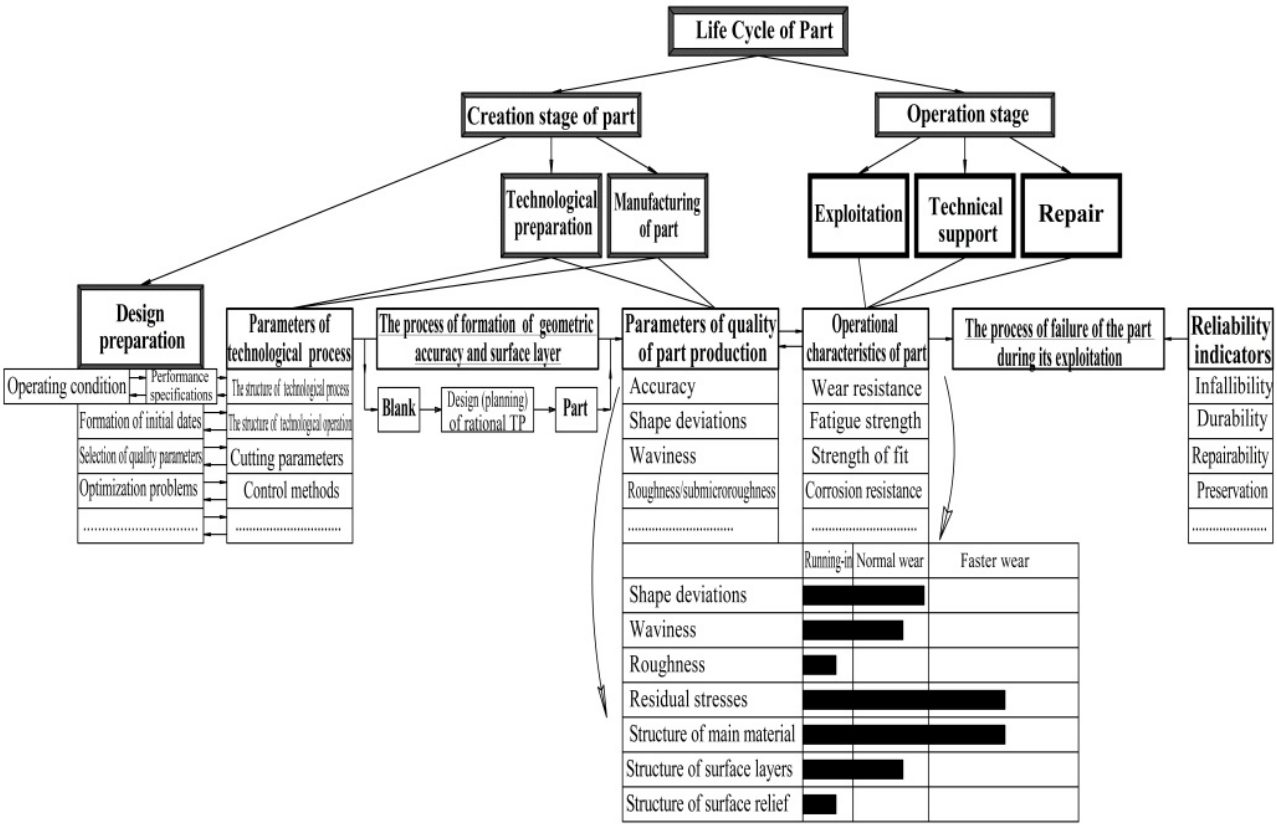


Figure 82.Relationships between parameters of technological process, geometric accuracy and part's surface layer parameters, the operational characteristics and reliability indicators

However, the process of obtaining of information about quality parameters of a part at the stage of its creation and the process of obtaining of information about the destruction of the part during its operation stage require joint theoretical and experimental research [293].

Therefore,the object of our researches is Life Cycle of a Part – from construction design to a failure.

Subject of our researches is development of structural model of Life Cycle of a Part by means of the mechanics of technological inheritability.

2. Literature Review

The terms «technological inheritability», «technological inheritance» presumably have been borrowed from biology [294].

Since the object of production have relations with surrounding objects, its state corresponds to the set of reactions of its parameters on the conditions of formation [294,295].

Mathematician Volterra claimed «effect of aftereffect». It means the state of the object is determined the current power characteristics as well as the history of the forces behaviour in the past. This effect is often associated with relaxation of the stresses of the blank material described by L. Boltzmann [294]:

$$\varepsilon(t) = \int_{-\infty}^{t} K \cdot (t-\tau) \cdot \sigma(\tau) d\tau, \tag{1}$$

where$K$ – function of relaxation; t– time; τ– independent variable; ε – deformation; σ – stresses.

It was experimentally confirmed by D. Maxwell.Thetheory of inheritableelasticity, created by Volterra, was advanced byYu. Rabotnov. He put forward the hypothesis of plastic inheritance in his works. This hypothesis generalizes the theory, that describing the dependence of the current deformation fromprevious deformation of the material [294].Relaxation function is described by equation of F. Kohlrausch [294]:

$$K = e^{-\frac{t-\tau}{\lambda}}, \tag{2}$$

whereλ=const>0.

The quality improving of the mechanical parts is the main goal of theory about the inheritance relations. The technological inheritance mathematically can be described by the following equation [295]:

$$D(f) + \underset{-\infty}{\overset{t}{J}}[t] = 0, \tag{3}$$

where$f(x,y,z,t)$is a vector-function of the state of the environment; $D$is a differential operator; $\overset{t}{\underset{-\infty}{J}}[t]$is an integral operator which describes the previous history of the system during the period from -∞ to t.

In 1930s A.P. Sokolovsky, investigating the accuracy of processing of the parts with metal-cutting machines, discovered the copying of the inaccuracies during the processing. He proposed a method for the improving of accuracy calculation of parts machining by means of introducing the term «refinement»ε_p. In 1950s V.M. Kovan proposed to perform dimensional analysis from the final (assembly) to the initial (blank) stages of production [294,295].

Another approach to the analysis of technological processes was developed by A.M.Dalskyi for providing improved quality parameters of parts. It was grounded on an assessment of the relations and dependencies of quality parameters of parts, accumulated on previous and following technological operations, which were defined as «technological inheritance». In his opinion, the inheritance information carriers are the material of the part itself, as well as its surfaces. The microcracks in the surface layer can be developed or healed during the technological process depending on the inherited information obtained on the previous stages [294,295].

Inheritability of the parts properties during their machining and assembly is most often described using graph's theory. It is important also to establish quantitative links of technological inheritance along with qualitative ones [284].

A.M. Dalskyiproposed to account the influence of technological inheritance through the changes of the coefficients in quality parameters [294]:

$$k_j = \frac{\Delta_i}{\Delta_{i+n}}, \qquad (4)$$

where$k_j$is j-th coefficient of changes in quality parameterΔ; $i$isnumber of current operation or transition; $i+n$is number of operation or transitionafter$i$, at which the value of the specified parameter is quantitatively determined.

P.I. Yascheritsyn justified the considering of the properties of processed surfaces, depending on the entire set of performed operations [295].

The mathematical model of the elementary technological process of machining should be presented in a form of graph. In this graph vertices represent to a certain state of surface quality and arcs presents technological transitions (operations). The description of technological inheritability for such a model can be presented by [294]:

$$x_l = a \cdot x_{l-1}^{b}, \qquad (5)$$

wherex_l, $x_{l-1}$is quality characteristics for (l-1) and l-operations of the machining process; a, $b$are coefficients of technological inheritability.

Coefficients$a$ and$b$ are determined from a multifactor analysis with multiplicative regression for different machining methods. Factor b takes into account relations of technological heredity, depends on the chosen technological method of surface processing. In a contrast, factor a characterizes the influence of parameters of a certain operation on the technological inheritance [294,295].

However, obtaining dependencies in form (5) for various technological methods is complicated by its practical implementation. More useful solution is applicationa dimensionless multiplicator $\Delta_{lim.}$, as one of the starting factors.Taking this into account the equation shall have a form [295]:

$$X_l = a \cdot \Delta_{lim.}^{b}, \qquad (6)$$

Automation of technological process planning requires development of mathematical models that relates the basic technological modes and the accuracy of the processing of parts with the parameters of the surface quality, taking into account the regularities of changing the basic properties from the previous to the following operations [294,295].

Such regularities are described by the coefficients of technological inheritability. These coefficients are obtained using the transformation of regressive dependencies, which are founded by means of extreme experiments planning methods [294,295]:

$$X_p = a_p \cdot a_{p-1}^{b_p} \cdot a_{p-2}^{(b_p \cdot b_{p-1})} \cdots\cdots\cdots \cdot a_1^{(b_p \cdot b_{p-1} \cdot \cdots\cdots b_1)} \cdot X_0^{(b_p \cdot b_{p-1} \cdot \cdots\cdots b_1)}, \quad (7)$$

whereX_0isthe initial quality parameter of the blank; a_1, b_1, ….a_{p-1}, b_{p-1}, a_p, $b_p$are the coefficients of technological inheritability from the first to the p-th operations of the technological process.

Thus, the properties materials of the blanks and essential features of the technological processes of machining and assembly are inherited and would be used for evaluation of the reliability of parts. Now it is not enough to evaluate the blank quality by their weight, hardness etc., only. It is necessary to investigate the basic parameters of the blanks in terms of the technological inheritance and technological inheritability [294,295].

The main criterion of the efficiency of the mechanical engineering part is its term of service during of its Life Cycle. As a rule, complex operating conditions of machine parts lead to the initiation of the processes of degradation of material properties and, ultimately, the exhaustion of part's term of service.

The processes of exhaustion of term of service are multistage, nonlinear, interrelated and dependent on specific conditions of production and operation of an individual object. All the developed designs contain some initial defects. We accept the concept that defects, existing in the parts, occurred during their processing or developed during operation stage. Processes of defects appearance and propagation must be evaluated quantitatively by means of some control over the whole Life Cycle of a part. Damage must be identified before that it has reached a critical size during its estimated term of service that provide the integrity and efficiency of the design with some defects [294].

At present, exists the different approaches for the estimation of the current condition of the investigated objects, estimation of the exhausted and forecast about the residual term of service. The approaches, based on the object's diagnosis of the material by physical methods (for example, acoustic emission), are being intensively developed. As well, the approaches, based on the measurement of some diagnostic parameters of the object during its operation (for example, the diagnosis of the state by the trend of vibration-acoustic characteristics), and also grounded on mathematical modelling of the object behaviour using modern achievements in the sphere of mechanics, calculating mathematics, computer science and technology, are being intensively developed too [295].

The most promising is an approach, based on direct mathematical modelling of the objects behaviour, taking into account the peculiarities of their geometric parameters, load conditions, development of elastic-plastic deformation and damage in the object's material with the mutual influences of these effects [294,295].

The implementation of the mentioned approach for the assessment of the object's behaviour is difficult and complex task. It requires for its solving to develop detailed algorithms and special computational models, as well as systems of special methodical, technical and informational support of the parts and machines. The solving of these tasks is very actual for mechanical engineering.

3. Research Methodology

3.1. Methods of research

There are some problems in mathematical modelling about the development of damage processes of the part.

The damage processes are developing in volumes from 10^{-30} m^3 (elementary acts of destruction at the level of the atomic lattice) to 10^{-3} m^3 (constructive elements). They undergo several different stages in their development. So, it is impossible to describe all the stages of the destruction process in the frames of one branch of science, from the initiation of microdefects to achievement a macroscopic crack with critical size. Descriptions of processes at the meso level meet great difficulties, where the physical regularities of collective interaction and evolution of various components of the hierarchical structure of the structural material are determinative. The solid state physics, which fairly and objectively describes the elementary acts of destruction, is not able to describe the collective interactions and evolution of the structure of the material at the meso level. On the other hand, the continuum damage mechanics, the fracture mechanics, which are operating with classical macrovariables like strain tensors and deformations, is unable to describe these effects also [296].

The stage of development of distributed microdefects is described using the continuum damage mechanics, but the stage of distribution of dangerous microcracks is analysed by means of the mechanics of destruction. Homogenization of microdefects in continuum damage mechanics has a contradictory character in the

transition zone, when size of defects is≈ 0.1 mm. In this case, using of the fracture mechanics methods is impossible, because of cracks are not sufficiently defined and capabilities of the continuum damage mechanics exhausted. Thus, the convergence of the boundaries of the both attempts is necessary for an adequate simulation of the process of damage accumulation in this zone. It can be done by introducing two substages for process of the accumulation of distributed microdefects: substage of the initiation of microdefects and the substage of their propagation (interaction), which is finished with the formation of a macroscopic crack of certain dimensions [296].

The introduction of these substages allows to expand the scope of using of the continuum damage mechanics. In the case of the fatigue and creep it allows to explain the interaction of these mechanisms and the phenomenon of non-linear damage summation, when the load conditions are changed.

3.2. Development a modernized structural model of formation and transformation of properties of a surface layer from the perspective of mechanics of technological inheritability

Any of processed technical object can be represented by input, output, control (management) as well as the mechanism for the control realization by means of SADT-technologies (see Figure 83,a). We also can represent the technological process planning as well as the change of surface layer conditions in deformation process by means of SADT-technologies (see Figure 83,b,c) [294].

Control elements describe a technological inheritability during technological process planning.

Technological inheritability is considered as a set of complex effects to transfer of related quality parameters of a part from previous to following technological operations during its production. Technological inheritability should be described by more complex models in the form of functionals. The development of a functionals system as mathematical models of technological inheritability requires the description of physical effects during the formation of the surface layer of parts [292,293].

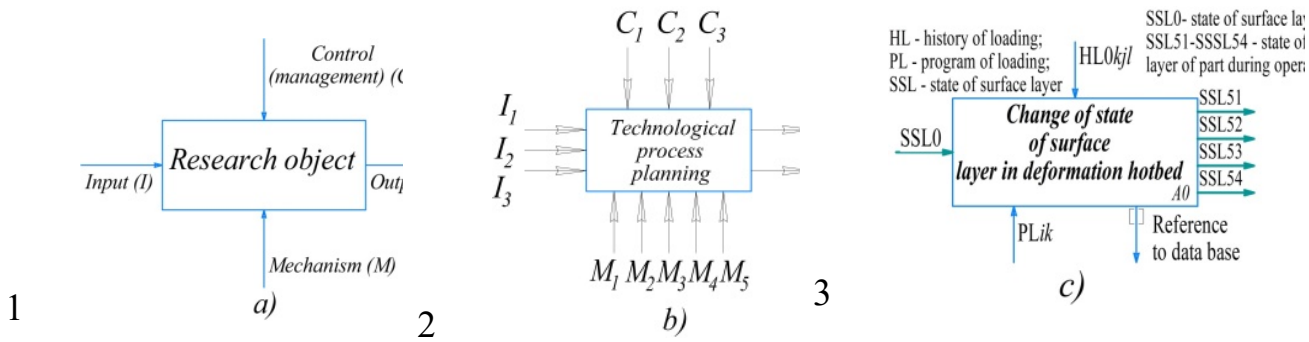


Figure 83.The submission of the technical object by means of SADT-technologies: *a*) general view; *b*) technological process planning: I_1 – design and engineering documentation for a part; I_2 – the technological system; I_3 – the machining material parameters ; C_1 – time for designing; C_2 – productivity; C_3 – cost price; M_1 – complex of mathematical models for the technological system; M_2 – modelling software complex; M_3 – data base for materials; M_4 – data base for instruments; M_5 – staff of CAD department; O_1 – technological process planned with technical requirements; O_2 – control or input correction requirements; *c*) formation of surface layer properties

From the perspective of the continuum damage mechanics the Life Cycle of a Part (PLC) is considered as a single process of the exhaustion of the metal plasticity reserve under the influence of certain load programs according to the technological inheritability of the part properties during all stages and sub-stages of the PLC (see Figure 84) [294,295]. The main substages of PLC (from manufacturing to part failure) are: blanking production, cutting process, finishing or finishing-hardening operation, stages of cyclic durability and cyclic crack resistance under loading in service (see Figure 84).

Modern science describes the process of yielding of metal using the basic approaches of continuum damage mechanics, despite the complexity of the processes in the surface layer. According to this approach, the properties of the surface layer are considered as a result of this yielding of metal; operational stage of part is considered as a process continuing of change of these properties. In the case of researches within the framework of this approach, we use the traditional parameters of the state of the

surface layer: roughness, waviness, hardness, residual stresses, etc. as well as parameters, known from the continuum damage mechanics: the degree of deformation $\Lambda_{\square}$ and the degree of the exhaustion of the plasticity reserves $\square_{\square}$ (see Figure854) [294,295].

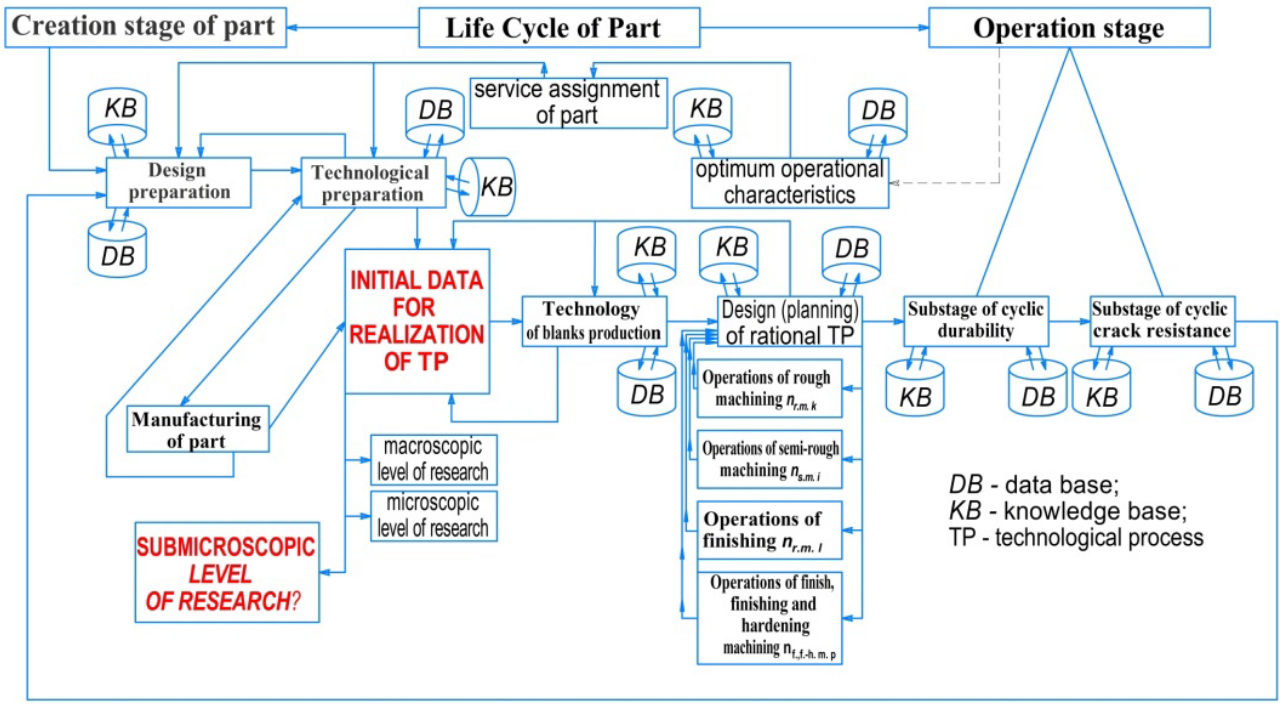


Figure 84.The Life Cycle of a Part, which isanalysed from the perspective of technological inheritability mechanics

The initial data for classic researches are: strength dependence$\sigma_i = \sigma_i(e_i)$, curve of plasticity limit $\Lambda_p = \Lambda_p(\Pi)$, diagram of cyclic durability $V_{dur.} = V_{dur.}(K)$ according to the phenomenological theory. The basic assumption is that the metal of the blank is not hardened in the initial state, its degree of deformation $\Lambda_\Sigma = 0$and degree of the exhaustion of the plasticity reserves $\psi_\Sigma = 0$ and the tensor of residual stresses $[T\sigma_{res.}] = 0$ (see Figure 85) [294].

The assumptions about a zero values for deformation degree, degree of exhaustion of the plasticity reserves and absence of residual stresses before the first operation of cutting often are far from reality. But a certain process of blanking production precedes before the first cutting operation. The influence of operations on

blanking substage on the technological inheritability of the quality parameters of part is not sufficiently taken into account yet. The structure and properties of blanks must be analysed in close relations with the metal inheritability starting from its liquid state. As an example for castings, about 75 % of the metal properties are formed during the filling and hardening of the alloy during cooling. Only 25% properties are transferred to the blank during it manufacturing [1].

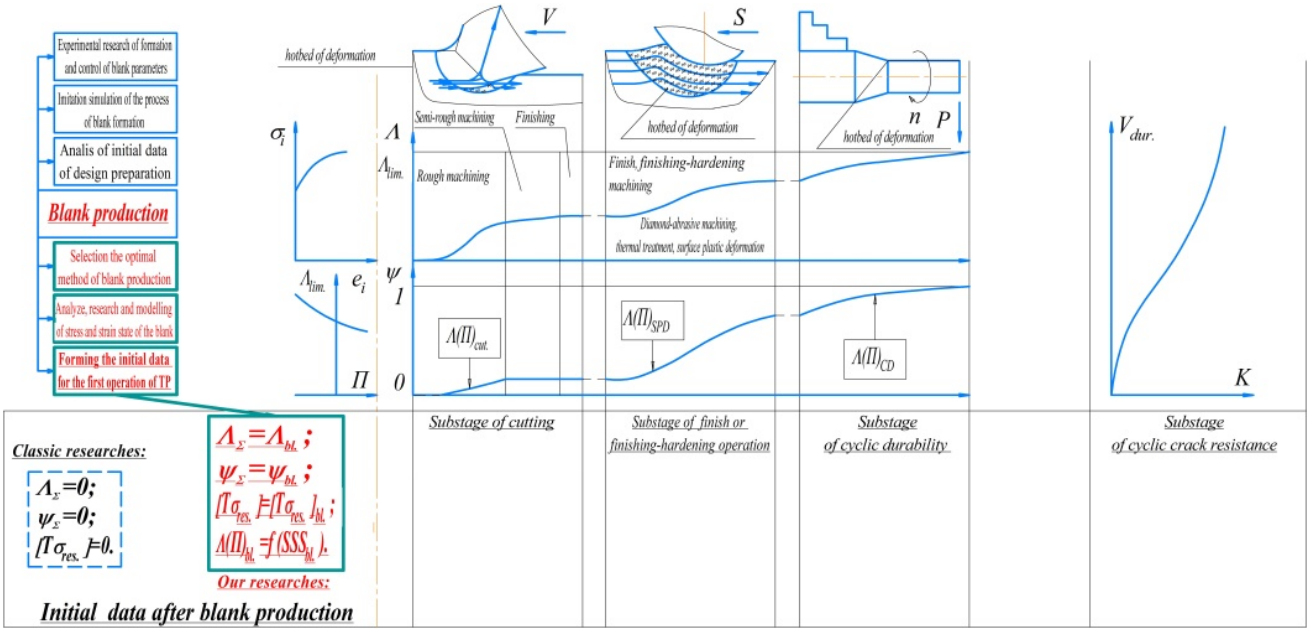


Figure 85 A structural model of formation and transformation of properties of a surface layer with detalization of blank production from position of mechanics of technological inheritability

Modern achievements of science related on nature the metals and alloys as well as rational technologies for the production of high-quality blanks create prerequisites for the management of their desired properties formation. The technological inheritability during the transfer of harmful properties from the previous to the following technological operations reduces the quality parameters of mechanical engineering parts. The defects of blanks from metallurgical production can occur during machining in the form of pores, shells, cracks etc. The failures which were not detected during early substages result in significant difficulties in its «correcting» during the finishing and hardening operations [284].

The inheritable nature of material aging affects the formation of final quality parameters. The deformation of the workpiece on previous operations creates background for non-equilibrium states, which are explained by the dislocation theory of the metals structure, and the processes of creep arise in the ready parts. Some grain boundaries are the sources of dislocations and initiation of the yielding of metal is determined by the state of the starting dislocational structure of the metal. The yielding of metal begins due to the digging of dislocations with weak their fixing. The yielding of metal occurs due to many new dislocations in the places of stress concentrators with a strong blocking of dislocations. The impurities in the metal of blanks also add some component in technological inheritance [294].

The heterogeneity of the structure is created during the crystallization of the alloys, depending on the conditions of the heat removal. The elements of such structure are primary grains, grain boundaries, pores, shells. The calculation of structural strength in the design of parts is made by means of mechanics of solid medium without taking into account the technological defects in material and the non-uniform distribution of properties in macrovolumes [294,295].

Investigation of the formation of inheritable properties in blanks during their production should be provided on the theoretical and experimental levels.

In most cases, the blank is transformed into a part by means of cutting. Thus, the quality of the part which is determined by certain parameters is provided by the conditions of blanks formation and cutting. In mechanical engineering the quality of parts is determined on the basis of operating characteristics that provide the service function of parts and machines [284,294,295].

Thus, in our opinion, the first important step of researches of Life Cycle of a Part is the analysis and research the substage of blank production.

At first, we must select the optimal method of blank production according to rational operating characteristics and technical requirements. The providing of the rational operating characteristics is more important than providing of the technical requirements of part according to the mechanics of technological inheritability.

After that we can simulate the real process using continuum damage mechanics and fracture mechanics. We have used the LM-hardness method for analysis of the damageability of materials after the blank production for experiments.

At the end we have a final data after the blank production. They are the initial data for the first operation of technological process of machining. These data, unlike the classical data, describe the real physical processes for blank production.

4. Conclusions

The main conclusions are following.

1. The effective development of the mechanical engineering is closely related on investigations of Life Cycle of a Part. The different operating conditions of machine parts lead to the development of different kinds of degradation of material properties and the exhaustion of term of service of a part. The research of Life Cycle of a Part allows to predict the state of the part at a specific moment of a time.

2. The blank production is the important phase of a Life Cycle of a Part. It is quite difficult to describe that phase from a perspective of the phenomenological theory. We bring to develop a structural model of formation and transformation of properties of a surface layer from a perspective of mechanics of technological inheritability taking into account the blank production phase.

3. Further research will be carried out for introduction of the proposed technique into other substages of a Life Cycle of a Part at the practice of mechanical engineering.

11.2 Extension value, with hot rolled aluminum alloy specimens, round section in smooth rollers

Процес обробки тиском переслідує дві основні мети: отримання виробів складної конфігурації із заготовок найпростіших форм; поліпшення структури й фізико-механічних властивостей металів і сплавів. Обробленню тиском піддають тільки ковкі матеріали, що володіють певною пластичністю. Крихкі метали і сплави, такі як чавун, марганець, тверді сплави й ін. тиском не обробляють. Оскільки пластичність металів і сплавів неоднакова, то одні з них

обробляються в холодному, а інші в гарячому стані. Наприклад, свинець, олово, алюміній, мідь, цинк і деякі інші метали, що володіють високою пластичністю, обробляються без попереднього нагрівання. Що стосується сталі, то для підвищення пластичності її в більшості випадків попередньо нагрівають до певної температури. Для отримання деталей та заготовок метали обробляють тиском наступними способами:

- вальцювання – це обробка металу тиском, за якої заготовка обтискується обертовими валками прокатного стану;
- волочіння – це процес протягування заготовок крізь отвір, що поступово звужується;
- пресування (екструзія) – витискання металу із замкненого об'єму крізь калібрувальний отвір;
- кування – це оброблення металу тиском місцевого прикладення деформуючих ударних навантажень за допомогою універсального підкладного інструмента або бойків із вільним переміщенням металу у всіх напрямах[1];
- штампування – це спосіб отримання заготовок за допомогою штампів.

Розглянемо вальцювання алюмінію та його сплавів

За схемою оброблення розрізняють три основні види вальцювання: поздовжнє (для сортових і фасонних профілів), поперечне і поперечно-гвинтове (для тіл обертання).

Поздовжнє вальцювання є одним з найпоширеніших видів вальцювання, під час якого заготовка у нагрітому або холодному стані деформується між двома валками, що обертаються в різних напрямках, і рухається перпендикулярно до осей валків. Силою тертя, що виникає між металом і валками, притиснутий до валків метал захоплюється і протягується між ними, при цьому метал деформується валками на невеликій ділянці – зоні деформування, яка перебуває між площинами AA_1 і BB_1, валками та бічними гранями заготовки (штаби). Центральний кут α, що відповідає дузі контакту AB валка зі заготовкою, називається кутом захоплювання. Фронт заштрихованої на рисунку зони деформування поступово переміщається вздовж заготовки справа

наліво, внаслідок чого зменшується її висота від h_0 до h_1 збільшується довжина від l_0 до l_1 і дещо зростає ширина від b_0 до b_1. Оскільки об'єм металу до і після вальцювання не змінюється, то: $b_0 \cdot h_0 \cdot l_0 = b_1 \cdot h_1 \cdot l_1$. Рис.86.

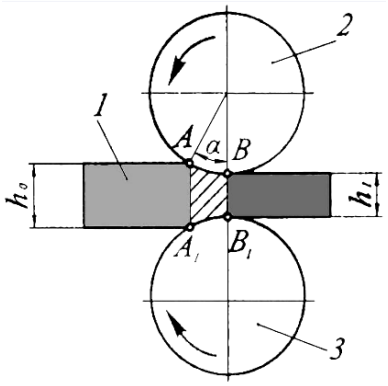


Рис.86 Схема вальцювання металу

1 – заготовка, 2,3 – валок, h_0 – початкова і h_1 кінцева висота заготовки, а – кут захоплення

При *поперечному вальцюванні* валки обертаються в одному напрямку і осі їх паралельні, а заготовка деформується ними при обертанні навколо своєї осі. Методом поперечного вальцювання отримують, наприклад, зубчасті колеса і зірочки ланцюгових передач на спеціальних верстатах з зубчастими валками.

Поперечно-гвинтове вальцювання широко застосовується при виробництві безшовних труб із суцільної заготовки. Валки обертаються в одному напрямку, а осі їх розташовані під деяким кутом, тому заготовка при обробці не лише обертається, але також і переміщається уздовж своєї осі. Для отримання правильної форми і гладкої поверхні отвору труби (гільзи) в зоні утворення отвору встановлюється оправка. Метод поперечно-гвинтового вальцювання застосовують також при виробництві куль, осей та інших виробів з використанням спеціально каліброваних валків.

За ступенем нагрівання заготовки вальцювання буває холодним, теплим і гарячим.

Холодне вальцювання – обробка тиском (прокатка) металів і металевих сплавів у холодному стані (при температурі нижчій за температуру рекристалізації і відпочинку). Цим методом виготовляють листи і стрічки, тонкостінні труби, профілі невеликого перерізу, надають термомагнітним сплавам необхідних магнітних властивостей. Для холодного вальцювання використовують безперервні або одноклітьові реверсивні і нереверсивні прокатні стани, трубопрокатні агрегати, спеціальні стани. Після вальцювання вироби піддають рекристалізувальному відпалу, іноді на них наносять покриття з олова, цинку, лакові покриття тощо.

Тепле вальцювання – обробка тиском (прокатка) нагрітих металевих сплавів (переважно сталей). Відбувається при температурі, нижчій за температуру рекристалізації (для сталі — при температурі 200…600°С). Теплою прокаткою одержують переважно труби з неіржавіючої сталі на трубопрокатних агрегатах холодного вальцювання. Тепле вальцювання сприяє інтенсивнішому пластичному деформуванню, ніж холодне.

Гаряче вальцювання – обробка тиском (прокатка) нагрітих металів і металевих сплавів. Відбувається при початкових температурах: для сталі 1000…1300°С, міді 750…800 °С, латуні 600…800 °С, алюмінію і його сплавів 350…400 °С, титану та його сплавів 900…1100°С. Гарячою обробкою на обтискних станах і заготовочних станах одержують заготовки (круглого, квадратного, плоского та змінного перерізу) для наступного кування, штампування, а також обробки різанням. Крім того, таким способом виготовляють сортовий прокат і прокат спеціального профілю (між валками із заглибинами), листи (між гладенькими циліндричними валками), труби тощо.

Актуальність розробки і впровадження маловідходних технологічних процесів штампування поковок з алюмінієвих сплавів на підприємствах машинобудування, особливо в авіаційній промисловості, обумовлена значним застосуванням у виробах різних галузей цих сплавів, підвищеною витратою металу (КВМ 0,15 - 0,3), високою трудомісткістю, тривалим циклом виготовлення якісних штампованих поковок (як правило, 2 - 3 штампування з

проміжними операціями нагріву, обрізки облоя, травлення, зачистки) і завданнями щодо вдосконалення металлосберагающіх технологій. Широке використання алюмінієвих сплавів визначається їх технічними, фізичними і механічними властивостями.

Застосування процесу вальцювання заготовок в умовах ізотермічного і наближених до нього деформування необхідна, як підготовча операція об'ємного штампування, що служить для перерозподілу металу вихідної заготовки, з метою: застосування високих ступенів деформації та обладнання меншого зусилля в порівнянні з традиційним вальцюванням; споживання менших енерговитрат; виготовлення якісних штампованих поковок з високим коефіцієнтом використання заготовки і низькою трудомісткістю. Крім цього, нагрів вальцювальних штампів до температур деформування (або близько до них) дозволить знизити зусилля деформування за рахунок підвищення пластичності оброблюваного металу, яке відбувається із - за повного протікання розміцнюючих процесів.

Для визначення технологічних параметрів і термомеханічних характеристик проводяться експерименти на дослідній установці для вальцювання заготовок в умовах ізотермічного і наближених до нього деформування.

В процесі вальцювання разом із зменшенням висоти заготовки і її видовженням (витяжкою), відбувається переміщення металу і в поперечному напрямі - розширення Δb, яке викликає в бічних кромках вальцьованої заготовки значне розтягуюче напруження і знижує загальну витяжку.

Для визначення впливу ступеня деформації, температур нагріву вальцювальних штампів на розширення металу на валки, заготовки із алюмінієвих сплавів АК6, АК4, АК4-1, АК8, АМг1, АМг2, АМг6, АМЦ з розмірами Ø14, 18, 20, 25х150мм нагріті до температури 450°С вальцювали в гладких валках зі ступенями деформації 30, 40 і 50 %. Вальцювальні штампи нагрівалися послідовно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450°С, при яких проводилися експерименти. Температуру заміряли хромель-

алюмелевою термопарою і регулювали за допомогою самописного приладу КСП. Частота обертання валків складала 12 хв$^{-1}$, яка була принята для подальших досліджень. У експериментальних дослідженнях використані методи тензометрування, оптичної мікроскопії, математичної статистики.

Аналіз експериментальних даних представлений в табл. 31 і на рис. 2, отриманих при вальцюванні заготовок з розмірами Ø14х150 мм показує, що розширення щодо початкового поперечного перерізу заготовки при вальцюванні в штампах, що мають температуру 20 °С і ступенях деформації 30, 40 і 50% збільшується відповідно на 20,4, 30 і 42 %. Пояснюється це тим, що із збільшенням ступеня деформації об'єм металу по ширині і, отже, розширення за інших рівних умов зростають.

Таблиця 31

Значення розширення Δb щодо початкового поперечного перерізу заготовки залежно від ступеня деформації ε і температури нагріву вальцювальних штампів $t_в$

	Температура, *t*		
	20°С	250°С	450°С
Розширення *Δ b*	ε = 30%		
	2,856	2,086	1,708
	ε = 40%		
	4,2	3,64	3,3
	ε = 50%		
	5,88	5,2	4,65

Характер поведінки залежностей розширення від температури нагріву вальцювальних штампів в інтервалі 20–250°С (рис. 87) можна пояснити наступним.

При температурі штампів 20°С і ступенях деформації 30, 40, 50 %, контактна площа зіткнення металу з вальцювальними штампами невелика, враховуючи прокат круглої заготовки Ø14 мм.

При цьому осьові стискуючі напруження направлені уздовж осередку деформації незначні в порівнянні із стискуючими напруженнями що діють в поперечному напрямі, тому спостерігається зростання розширення. Зниження розширення зі збільшенням температури нагріву вальцювальних штампів відбувається за рахунок протікання знеміцнюючих процесів і підвищення пластичності оброблюваного металу.

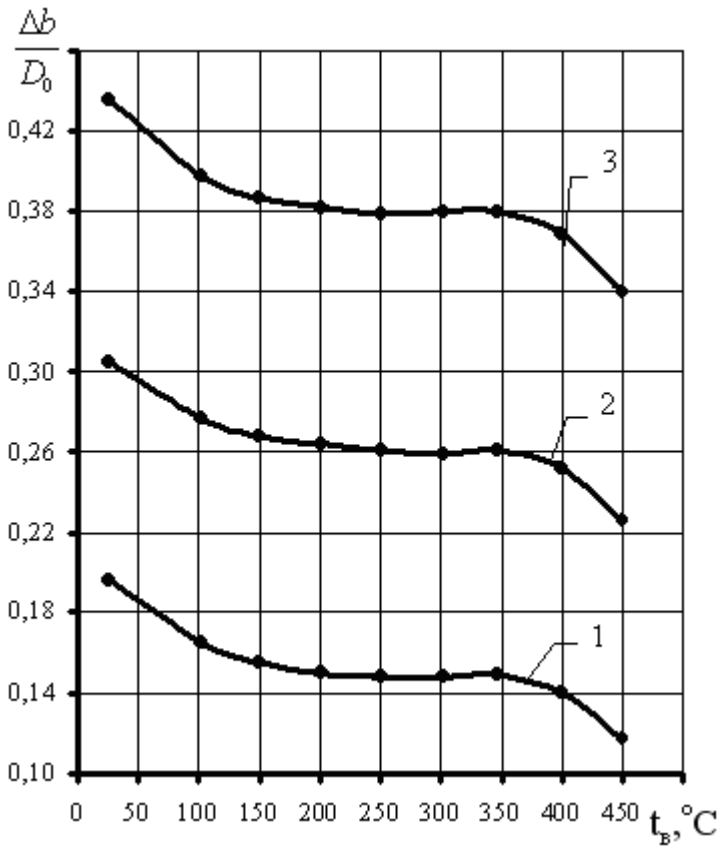


Рис. 87 Залежність розширення від ступеня деформації і температури нагріву вальцювальних штампів (ступінь деформації: 1-30 %; 2-40 %; 3-50 %; температура нагріву заготовок 450°С)

У інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів 250–350°С при постійному ступені деформації, розширення практично не міняється, а зміна

ступенів деформації міняє абсолютні значення розширення на 15, 26, 37 % щодо початкового поперечного перерізу заготовок що деформуються, відповідно, зі ступенями деформації 30, 40 і 50%. Це відбувається унаслідок досягнення рівності осьових стискуючих напружень направлених вздовж і поперек осередку деформації, а також рівності зміщуваних об'ємів в цих напрямах.

З підвищенням температури нагріву вальцювальних штампів до 450°С і вальцювання заготовок зі ступенями деформації 30, 40 і 50 %, значення розширення щодо початкового поперечного перерізу заготовки зменшується і складає 12,2, 23,6, 33 % відповідно. Зниження розширення відбувається за рахунок збільшення осьового стискуючого напруження направленого уздовж осередку деформації, повнішого протікання знеміцнюючих процесів, відсутності зон утрудненої деформації.

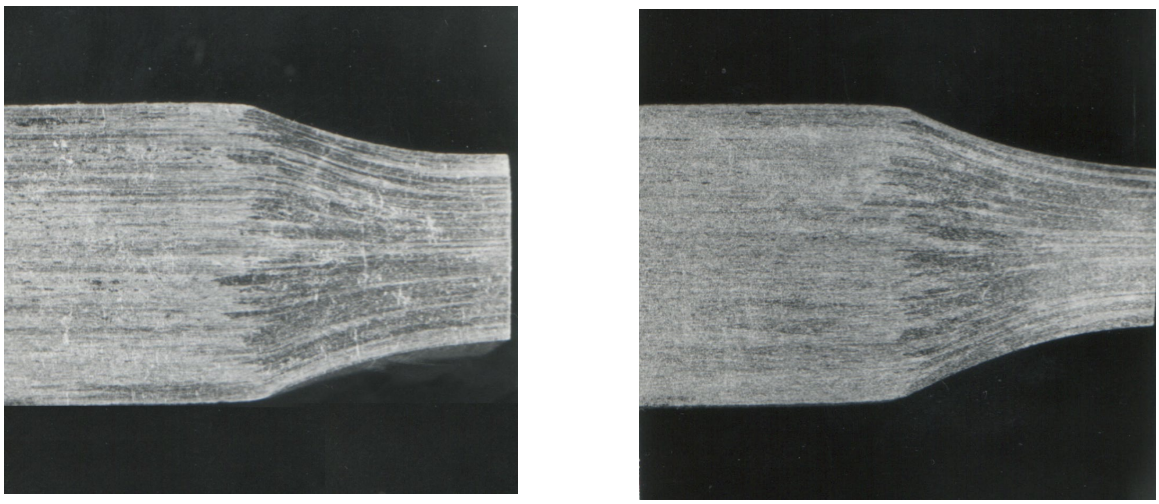
Проведений аналіз зміни розширення показав, що зі збільшенням температури нагріву вальцювальних штампів, значення розширення зменшуються. Так, значення розширення одержане при температурі нагріву вальцювальних штампів до $t_в$=250 і 450°С при деформації ε=30% зменшуються по відношенню до розширення отриманому при вальцюванні заготовок у вальцювальних штампах, що мають температуру 0°С відповідно на 37 і 67, 2%. Зменшення розширення при $t_в$=450°С відносно $t_в$=250°С складає 22%.

Аналогічно проведений аналіз зміни значень розширення при вальцюванні заготовок при ступенях деформації 40, 50% і інших рівних умовах показав, що розширення зменшується на 15,4 і 27,3% (ε = 40%), 13 і 26, 45% (50%). Зменшення розширення при $t_в$=450°С відносно $t_в$=250°С відповідає 10,3% (ε=40%), 11,8% (ε=50%).

З аналізу рис. 87 видно, що зміна ступеня деформації від 30 до 50 % збільшує значення розширення, не змінюючи характеру залежностей їх від температури нагріву вальцювальних штампів. Вище було відмічено, що зі збільшенням ступеня деформації об'єм металу по ширині і, отже, розширення за інших рівних умов зростають.

На рис. 3 представлена макроструктура поздовжнього перерізу вальцьованих заготовок зі сплаву АК6 в гладких вальцювальних штампах за один перехід при температурі заготовок і вальцювальних штампів 470°С, ступенях деформації 40 і 50%.

Проведені дослідження макро-, мікроструктури та механічних властивостей якості вальцьованих заготовок в умовах ізотермічного і наближеного до нього деформування відповідали вимогам технічної документації.



а б

Рис. 88. Макроструктура поздовжніх перерізів вальцьованих заготовок в гладких валках. Сплав АК6, , Ø14х150мм. Температура заготовок і вальцювальних штампів 470°С: а - ступінь деформації 40 %;

б – ступінь деформації 50 %

Гаряча обробка металів тиском має ряд позитивних якостей: складові частини металу розподіляються рівномірніше, ніж до обробки; зменшуються розміри зерен, що призводить до поліпшення механічних властивостей; метал стає щільнішим. Сплави, оброблені тиском, мають волокнисту будову. Механічні властивості таких сплавів вздовж волокон кращі, ніж властивості упоперек волокон. Це пояснюється тим, що при обробці тиском волокна перерозподіляються відповідно до форми деталі.

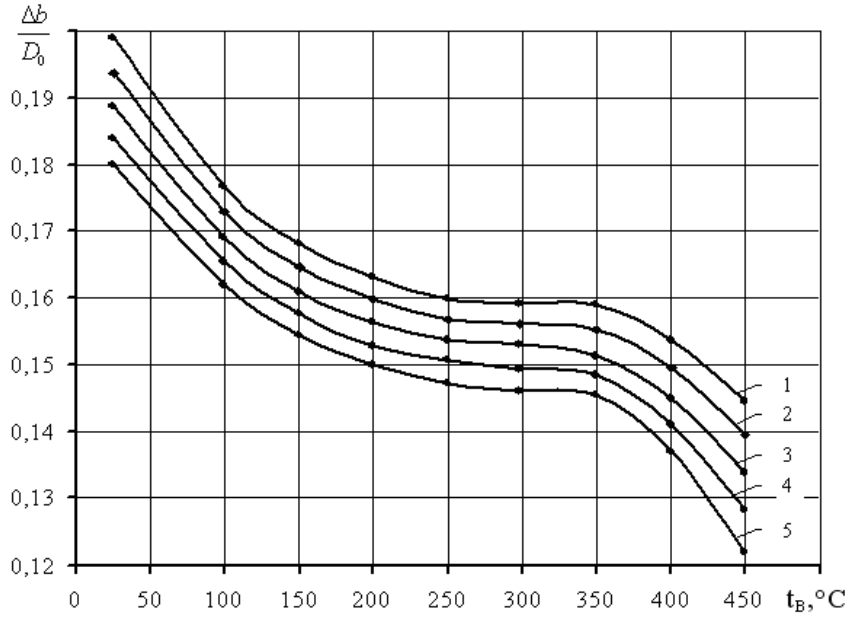


Рис. 89. Залежність розширення від температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів при ступені деформації 30% (температура нагріву заготовок: 1 - 300°C; 2 - 350°C; 3 - 400°C; 4 - 450°C; 5 - 470°C)

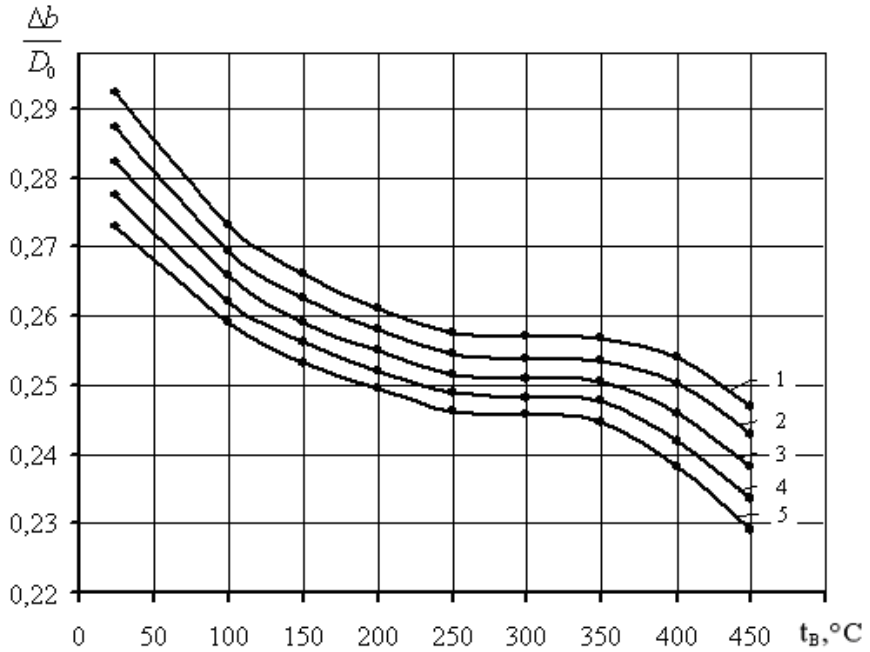


Рис. 90. Залежність розширення від температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів при ступені деформації 40% (температура нагріву заготовок: 1 - 300°C; 2 - 350°C; 3 - 400°C; 4 - 450°C; 5 - 470°C)

Тиск металу на валки було досліджено при вальцюванні заготовок зі сплаву АК6 з розмірами Ø14 х 150 мм, які мали температуру 450°С, виміри проводилось за допомогою месдоз у вигляді силовимірної склянки із записом показників осцилографа Н – 105 на світлочуттєвий папір типу УФ шириною 120 мм.

В іншій серії експериментів, заготовки з вище названих сплавів з розмірами Ø14, 18, 20, 25 х 150мм, нагріті в камерній печі електроопору до температур 300, 350, 400, 450, 470^{+10}°С вальцювали в гладких вальцювальних штампах, які нагрівали послідовно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 470°С. Вальцювання заготовок проводилося зі ступенями деформації 30 і 40 %.

Аналізуючи експериментальні данні показані на рис. 89 і 90 видно, що зі збільшенням температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів розширення зменшується у зв'язку із протіканням знеміцнюючих процесів. Окрім цього, необхідно відзначити, що в інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів 250 – 350°С, розширення при постійному ступені деформації (аналогічно показаному на рис. 2) практично не змінюється, а зміна ступенів деформації веде до зміни його абсолютних значень.

Переваги гарячого вальцювання:

- надійність,
- тривалий термін експлуатації,
- стійкість до високих температур,
- довговічність,
- висока міцність,
- стійкість до великого тиску.

SECTION 12.
METALLURGY AND ENERGY

12.1 Numerical investigation of convective heat transfer in the banks of tubes with punched spiral finning

В нынешних условиях острого дефицита энергетических и материальных ресурсов и резкого повышения их стоимости важнейшей задачей энергетики Украины является энерго- и ресурсосбережение.

Решение актуальной проблемы энергосбережения требует значительного повышения экономичности котлоагрегатов, особенно газомазутных, за счет снижения температуры уходящих газов. Для ее снижения разрабатываются и частично реализуются различные методы и технологии. Но существенное снижение температуры уходящих газов создает другую проблему – значительное ухудшение теплопередачи по причине уменьшения температурных напоров в конвективных низкотемпературных элементах котлоагрегатов. При использовании традиционных гладкотрубных поверхностей нагрева вследствие этого увеличивается необходимая площадь поверхности нагрева, габариты, масса, стоимость и аэродинамическое сопротивление котлоагрегата, что в совокупности значительно уменьшает достигнутый позитивный эффект от экономии топлива.

В этих условиях приобретает актуальность проблема интенсификации теплообмена. В значительной мере эта проблема может быть решена применением развитых оребренных поверхностей теплообмена. В условиях, когда один из теплоносителей находится под значительным давлением, наиболее приемлемы поверхности нагрева на основе пучков стальных труб с наружным оребрением. Большинство современных тепловых электростанций (ТЭС) работает по традиционной паротурбинной (ПТУ) технологии, коэффициент полезного действия которых не превышает 39…40%. В последнее время расширяется применение парогазовых технологий (ПГУ) –

газотурбинных установок (ГПТУ) с большой газотурбинной мощностью и парогазотурбинных (ПГТУ), в которых мощность газовой турбины в основном используется лишь для создания наддува в высоконапорных парогенераторах (ВПГ). Более широко используются ГПТУ, обеспечивающие КПД энергоблока до 55…58%, при условии утилизации теплоты выхлопных газов турбин в котлах-утилизаторах (КУ). Металлоемкость таких КУ большая, поскольку они работают в зоне низких температур газов.

Второй тип ПГУ – ПГТУ – обеспечивает повышение КПД цикла лишь до 44…45%, но металлоемкость котла уменьшается в 2 – 3 раза (в высоконапорной части ВПГ, где размещено большинство поверхностей нагрева, металлоемкость уменьшается в 5…6 раз).

Из отмеченного следует, что как в котлах ПТУ, так и в котлах-утилизаторах ГПТУ и ПГТУ часть поверхностей нагрева работает в зоне низких температур и давлений газов, что требует либо интенсификации теплообмена в гладкотрубных поверхностях нагрева, либо применения развитых поверхностей нагрева. Интенсификация теплообмена в этих условиях известными методами весьма ограничена, поскольку, как правило, имеются ограничения на увеличение аэродинамического сопротивления. Решение проблемы улучшения массо-габаритнных характеристик котлов и котлов-утилизаторов в значительной мере достигается оребрением низкотемпературных поверхностей нагрева.

Выбор наиболее подходящего типа оребрения стальных труб возможен на базе результатов численных и экспериментальных исследований их теплогидравлических характеристик.

Из теории конвективного теплообмена известно [302], что на начальном участке каналов произвольного поперечного сечения наблюдается формирование гидродинамического и теплового пограничных слоев с высокими значениями коэффициентов теплообмена относительно стабилизированного течения. На этом основании появилось научно

обоснованное предположение о возможности интенсификации теплообмена в межреберных каналах путем периодического прерывания их стенок.

В рамках реализации этого предложения разработано и частично используется ряд способов интенсификации теплообмена путем деформации оребрения трубчатых поверхностей нагрева. В частности, радиальная разрезка шайбовых ребер с различной частотой и шириной разрезов [303]; разрезка спиральных ребер тонкой фрезой вдоль образующей трубы под углом 45° , в результате чего образуются лепестки по форме напоминающие знак интеграла [304]; периферийная насечка спиральных ребер с отгибом рассеченной части [305,306]; изготовление лепесткового оребрения путем накатки трубы с профилированной поверхностью в виде продольных выступов [307] и некоторые другие. Однако все эти способы применимы лишь для труб и ребер из мягких металлов, в основном из алюминия и его сплавов.

Для стальных труб и ребер эти способы неприменимы. Для стальных труб и ребер, как известно, широко применяется приварное спирально-ленточное оребрение. С целью интенсификации теплообмена такого оребрения стальная лента предварительно просекается. Ширина просечек обычно составляет 1,6…2,0 мм, глубина может быть различной, но не превышать 2/3 общей высоты ребра (ширины ленты) по условию исключения образования трещин и разрывов ленты у основания просеченной части ребра при навивке ленты на трубу [308]. После навивки и приварки просеченной ленты к трубе образуется большое количество участков прямоугольной формы – лепестков (рис. 91)

Первые сведения о теплообмене и потере давления в пучках труб с просеченным спиральным оребрением представлены в [309]. Приведены эмпирические соотношения для расчета теплоотдачи и потери давления пучками труб с просеченным спиральным оребрением.

В качестве определяющих параметров в обобщении приняты: массовая скорость газов, число Рейнольдса, отнесенное к наружному диаметру несущей оребрение трубы, отношение поперечного шага труб в пучке к наружному диаметру трубы S_1/d_0, отношение высоты ребра к ширине межреберного

зазора $h_P/(S_P-\delta)$, отношение продольного шага труб в пучке к поперечному S_2/S_1, отношение наружного диаметра оребрения к диаметру трубы d_1/d_0, число поперечных рядов труб в пучке Z_2.

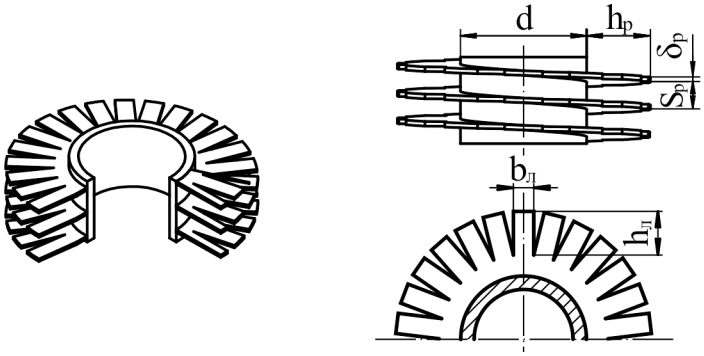


Рисунок 91. Фрагменты трубы с просеченным оребрением

Можно отметить некоторые особенности обобщения [309]. Зависимость теплоотдачи от числа Рейнольдса устанавливается коэффициентом корреляции C_1, а аэродинамического сопротивления – коэффициентом C_2. Показатель степени при числе Рейнольдса в расчете теплообмена принят постоянным (графическая зависимость $C_1 = f(\mathrm{Re})$ в логарифмических координатах линейна). Зависимость $C_2 = f_1(\mathrm{Re})$ - нелинейна; с увеличением числа Re угол наклона касательной к кривой $C_2 = f_1(\mathrm{Re})$ уменьшается.

Влияние высоты и шага ребер на теплообмен отдельно не рассмотрено, установлено их совместное влияние с помощью корреляционного коэффициента $C_3 = f[h_P/(S_P-\delta)]$, пропорционального коэффициенту теплоотдачи конвекцией. Коэффициент C_3 имеет максимальное значение C_3=1,0 при $h_P/(S_P-\delta)$=0, то есть при h_P=0 (вариант $S_P \to \infty$ не имеет смысла). С увеличением $h_P/(S_P-\delta)$ коэффициент C_3 уменьшается для сплошного и просечного оребрения, для шахматных и коридорных пучков. Более интенсивное снижение характерно для сплошного оребрения и коридорных пучков. На участке $h_P/(S_P-\delta)$=0,0…2,4 кривые $C_3 = f[h_P/(S_P-\delta)]$ для сплошного и просечного оребрения практически совпадают, что указывает на равенство коэффициентов теплоотдачи, например, для S_P=6,0мм и δ=1,0мм

при изменении высоты ребер от 0,0 до 12,0мм. Совпадающее изменение коэффициента C_3 в отмеченном диапазоне для сплошного и просечного оребрения предполагает наличие идентичного характера гидродинамики течения газов в межреберных каналах этих видов оребрения. Этот факт в [309] не отмечен и требует проверки. Характер изменения зависимости $C_3 = f\left[h_P/(S_P - \delta)\right]$ показывает, что при $h_P = Const$ коэффициент теплоотдачи увеличивается с уменьшением шага ребер, а при $S_P = Const$ - с уменьшением их высоты.

Влияние глубины рассечения ленты (высоты лепестков) и шага рассечения (ширины лепестков) на теплообмен и сопротивление не установлено.

Влияние количества поперечных рядов труб в пучке как в шахматных, так и в коридорных компоновках в [309] учитывается коэффициентом корреляции C_5, зависящим от количества поперечных рядов Z_2 и от отношения продольного шага труб в пучке к поперечному S_2/S_1. В шахматных пучках значение этого коэффициента при Z_2=1 независимо от отношения S_2/S_1, постоянно и равно 0,7. С увеличением Z_2 коэффициент C_5 увеличивается и тем больше, чем меньше S_2/S_1. Для Z_2>4 C_5 при всех значениях S_2/S_1 принимается независящим от Z_2. Максимальное его значения C_5=1,16 соответствует S_2/S_1=0,4. При увеличении S_2/S_1 для всех рядов, кроме первого, C_5 уменьшается и стремится к C_5=0,7 при S_2/S_1>2,8.

Для коридорных пучков наибольшее значение коэффициента C_5=1,1 соответствует значению $S_2/S_1 \geq 2{,}0$ независимо от Z_2. В области S_2/S_1<2,0 коэффициент C_5 уменьшается и тем больше, чем больше Z_2 и чем меньше S_2/S_1. При Z_2=2, например, и S_2/S_1=0,4 C_5=0,92; при Z_2>4 и S_2/S_1=0,4 C_5=0,77.

Для определения конвективного коэффициента теплоотдачи предлагаются уравнения:

$$\alpha_K = jC_P G_П \left(\lambda_Г / C_P \mu_Г\right)^{0,67}, \quad (1)$$

$$j = C_1 C_3 C_5 \left(d_1/d_0\right)^{0,5} \left[\frac{\left(S_2 - d_0\right)}{\left(S_1 - d_0\right)} + 1\right]^{-1} \cdot \left(\frac{T_Г}{T_{CT}}\right)^{0,25}. \quad (2)$$

Сомножитель $\left[\frac{\left(S_2 - d_0\right)}{\left(S_1 - d_0\right)} + 1\right]^{-1}$ учитывается только для расчета теплообмена в коридорных пучках.

Для расчета аэродинамического сопротивления предлагаются уравнения:

$$\Delta P = \left(f + a\right) G_П^2 \cdot Z_2 \left(\rho_в \cdot 1{,}083 \cdot 10^9\right), \quad (3)$$

где $f = C_2 C_4 C_6 (d_1/d_0)^{0,5}$ - для шахматных пучков; (4)

$f = C_2 C_4 C_6 (d_1/d_0)^{1,0}$ - для коридорных пучков. (5)

Все величины, входящие в формулы (1)…(5) выражены в Британской системе единиц, что представляет неудобства их использования.

По оценке автора [309] погрешность аппроксимации экспериментальных данных по теплообмену уравнениями (1), (2) для равносторонних шахматных пучков составляет ±10%, для квадратных коридорных компоновок ±20%; по аэродинамическому сопротивлению для равносторонних шахматных пучков δ=±15%, для квадратных коридорных пучков - ±20%. При других компоновках погрешности могут быть значительно больше, что автор объясняет недостаточностью опытных данных для выведения коэффициентов корреляции. Позднее метод расчета был модернизирован ESCOA.

В [310] представлены результаты сравнительного экспериментального исследования теплообмена и аэродинамического сопротивления шахматных пучков труб с просечным и сплошным оребрением. Исследование проведено при одной компоновке пучка и одной геометрии оребрения (d=114мм, h_P=13мм, S_P=5,9;6,4мм; S_1/d=1,75, S_2/d=1,4 и коэффициент оребрения ψ=5,4;5,6). Коэффициенты теплоотдачи сплошного и просечного оребрения оказались одинаковыми, а сопротивление пучка с просечным оребрением –

выше на 20…30%. На основании этих результатов автор работы не рекомендует использовать трубы с просечным оребрением. В работе [311] нет систематического изучения теплообмена и сопротивления при различной геометрии оребренных труб и пучков, в связи с чем это исследование имеет частный характер и не может служить основой для категорических выводов.

Наиболее полно исследованы теплообмен и аэродинамика пучков труб с просечным оребрением в работах [312-315]. Исследованы теплообмен и аэродинамика поперечно-омываемых шахматных и коридорных пучков труб в широком диапазоне определяющих параметров.

В качестве определяющих геометрических параметров в исследовании теплообмена шахматных пучков приняты коэффициент оребрения ψ, отношение шагов труб в пучке S_1/S_2 и диаметр трубы, несущей оребрение d. Результаты опытов аппроксимировались известным уравнением подобия

$$Nu_K = C_q \mathrm{Re}_d^m .$$

Определяющие параметры изменялись в пределах: Re_d=(5…50)·10^3; ψ=5,1…11,3; S_2/S_1=0,8…2,5.

При исследовании теплообмена коридорных пучков в качестве геометрической характеристики пучка принят относительный продольный шаг труб $\sigma_2 = S_2/d$. Остальные определяющие параметры приняты те же, что и для шахматных пучков (ψ, Re_d). Исследования проведены в области изменения параметров: Re_d=(5…50)·10^3; ψ=4,60…9,31; σ_2=1,8…5,0.

В результате анализа опытных данных по шахматным пучкам установлено, что в исследованных диапазонах изменения определяющих параметров, показатель степени при числе Re_d для сплошного и просечного оребрения близко совпадают [311,312]. На этом основании рекомендовано рассчитывать среднеповерхностный коэффициент теплоотдачи по формулам для сплошного оребрения, введя поправочный коэффициент $C_П$=1,3, который и устанавливает

интенсификацию теплообмена просечным оребрением относительно сплошного. Формулы для расчета теплоотдачи и аэродинамического сопротивления приведены ниже.

В [312] отмечается, что максимальная погрешность расчета по предложенной методике относительно собственных опытных данных составляет ±10%.

Расчет аэродинамического сопротивления шахматных пучков труб с просечным спирально-ленточным оребрением в [312] рекомендуется выполнять по формулам для сплошного оребрения, дополнив уравнение $Eu_0 = C_S C_Z \mathrm{Re}_э^{-n}$ сомножителем

$$C_П = 0{,}55(H/F)^{0{,}25} \cdot (S_1/S_2)^{0{,}4} \tag{6}$$

Расчет теплообмена в коридорных пучках труб с просечным спиральным оребрением предложено также выполнять по известному критериальному уравнению зависимости числа Nu от числа Re. Коэффициенты m и C_q рекомендуется рассчитывать по обобщенным соотношениям [314]:

$$m = 0{,}61 + 0{,}06th\left[2\left(\frac{\psi}{7} + 2 - \sigma_2\right)\right] + 0{,}022\psi\,, \tag{7}$$

$$C_q = \left\{1{,}6 - th\left[2\left(\frac{\psi}{7} + 2 - \sigma_2\right)\right]\right\}\left(\frac{0{,}3}{\psi - 0{,}9} - 0{,}01\right). \tag{8}$$

Точность обобщения оценена относительной погрешностью, которая для 96% опытных данных не превышает ±15%.

Для расчета аэродинамического сопротивления коридорных пучков труб с просечным оребрением в [315] рекомендуется то же уравнение с расчетом коэффициентов n и C_S по эмпирическим зависимостям:

$$n = \left[1{,}426(H/F)^{0{,}044} - 1{,}31\right] \cdot (S_1/S_2)^{-0{,}5}, \tag{9}$$

$$C_S = 0{,}05(H/F)^{0{,}8}(S_1/S_2)^{-1{,}2}, \tag{10}$$

Погрешность обобщения не превышает ±15%.

По работам [312–315] можно сделать следующие замечания:

- в большинстве опытов оребрение характеризовалось относительно низкой высотой лепестков ($h_л/h_P \approx 0{,}414\ldots0{,}500$ при $\left(h_л/h_P\right)_{\max} \approx 0{,}66$);

- влияние высоты и ширины лепестков на теплообмен отдельно не установлено;

- влияние шага и толщины ребер на теплообмен отдельно не установлено;

- в расчете аэродинамического сопротивления приведенная длина развитой поверхности рассчитывается по формуле для сплошного оребрения без учета размеров и количества просечек и лепестков.

Ввиду трудности экспериментального определения зависимости теплообмена отдельно от каждого геометрического размера сложной развитой поверхности теплообмена, каковой являются оребренные поверхности, особенно трубы с просечным спирально-ленточным оребрением, в последнее время предпринимаются численные исследования [316].

Эти работы подтвердили целесообразность и эффективность численного моделирования теплогидравлических процессов в сложных развитых поверхностях теплообмена.

В последнее время проведены исследования теплообмена труб с просеченным оребрением при дополнительной деформации просеченной части ребер [317, 318, 319]. В работе [317] представлены результаты исследования пучков труб с просеченным оребрением при повороте лепестков на угол 30° относительно направления набегающего потока. Получено увеличение теплоотдачи на 44% при увеличении потери давления на 16…40%. Несколко иная оценка эффекта от поворота лепестков получена в численном исследовании [318]: положительный эффект достигается при углах поворота менее 15°, при углах более 15° ухудшается соотношение количеств переданного тепла и энергии, затраченной на преодоление аэродинамического сопротивления. Интенсификация теплообмена просечением сплошных ребер оценивается в 12,3% при одинаковой высоте ребер. В [319] исследован

теплообмен пучка труб с просеченными ребрами с пятью формами лепестков. Получена интенсификация теплообмена на 17,6…21,5%. Потеря давления не определена.

Абсолютно надежные данные по гидродинамическим характеристикам и теплообмену просечного спирально-ленточного оребрения можно получить только по результатам тщательно разработанного и обширного эксперимента. Однако, постановка и проведение такого эксперимента едва ли осуществима из-за сложности задачи, решение которой потребует больших экономических затрат и времени. Особенно усложняется задача оптимизации или рационализации геометрии ребер из-за большого количества варьируемых параметров, что делает экспериментальный путь исследований практически нереализуемым. В таких случаях целесообразно использование численных исследований.

Далее представлены два различных численных исследования:

- определение теплогидравлических характеристик плоско-параллельных открытых межреберных каналов при совместном рассмотрении процессов гидродинамики и теплообмена;

- определение термического состояния элементов просечного спирально-ленточного оребрения и среднеповерхностного коэффициента теплоотдачи витка оребрения на основе определения коэффициентов теплоотдачи отдельных его элементов по существующим критериальным уравнениям, а также значений частных параметров эффективности теплообмена: теплового потока Q, тепловых потоков на единицу длины Q_L, единицу объема Q_V, единицу массы Q_M и максимальной температуры элементов оребрения $t_{cm}^{\max}$.

Предлагаемая математическая модель предусматривает определение теплогидравлических характеристик каналов со стенками, просеченными по коридорной и шахматной схемам (рис. 92).

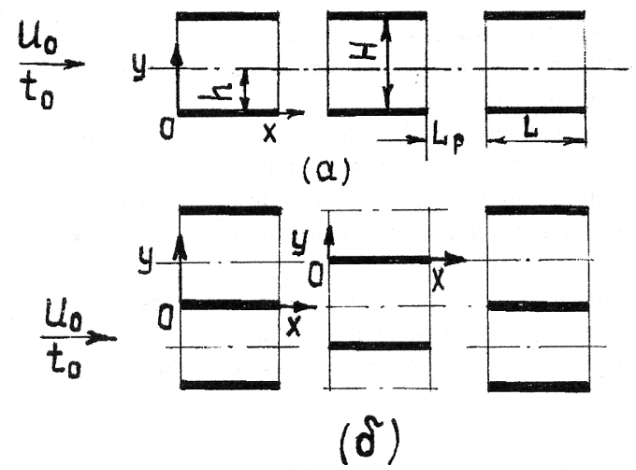


Рисунок 92. Схемы плоскопараллельных каналов:

а) – коридорная, б) – шахматная.

При разработке ММ приняты следующие положения и допущения:

- течение может быть как ламинарным, так и турбулентным;

- граничные условия гидродинамики и теплообмена формируются независимо для стенки и разрезов;

- падение давления определяется только трением, местные сопротивления не учитываются;

- в разрезе пластин течение безградиентное;

- выталкивающие силы отсутствуют;

- жидкость несжимаема, свойства ее не зависят от температуры;

- на стенке задана температура;

- коэффициенты турбулентного переноса количества движения и тепла определяются по имеющимся полуэмпирическим зависимостям.

С учетом сделанных замечаний ММ гидродинамики и теплообмена сформулирована уравнениями плоского пограничного слоя [320]:

- уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \overline{U}}{\partial \overline{X}} + \frac{\partial \overline{V}}{\partial \overline{Y}} = 0; \qquad (11)$$

- уравнение импульсов

$$\overline{U}\frac{\partial\overline{U}}{\partial\overline{X}}+\overline{V}\frac{\partial\overline{U}}{\partial\overline{Y}}=-\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial\overline{P}}{\partial\overline{X}}+\nu\frac{\partial^2\overline{U}}{\partial\overline{Y}^2}-\frac{\partial\overline{U'V'}}{\partial\overline{Y}}; \qquad (12)$$

- уравнение энергии

$$\overline{U}\frac{\partial\overline{t}}{\partial\overline{X}}+\overline{V}\frac{\partial\overline{t}}{\partial\overline{Y}}=a\frac{\partial^2\overline{t}}{\partial\overline{Y}^2}-\frac{\partial\overline{\overline{V}'\overline{t}'}}{\partial\overline{Y}}. \qquad (13)$$

Граничные условия формируются:

для коридорной схемы расположения пластин:

- на твердой стенке

$$0<\overline{X}<\overline{L},\ \overline{Y}=0:\ \overline{U}=\overline{V}=0,\ \overline{t}=t_W; \qquad (14)$$

- на оси симметрии

$$0<\overline{X}<\overline{L},\ \overline{Y}=\overline{h}:\ \overline{V}=\frac{\partial\overline{V}}{\partial\overline{Y}}=\frac{\partial\overline{U}}{\partial\overline{Y}}=\frac{\partial\overline{t}}{\partial\overline{Y}}=0; \qquad (15)$$

- в области разрыва

$$\overline{L}<\overline{X}<\overline{L}+\overline{L}_P,\ \overline{Y}=0,\ \overline{Y}=\overline{h}:\ \overline{V}=\frac{\partial\overline{V}}{\partial\overline{Y}}=\frac{\partial\overline{U}}{\partial\overline{Y}}=\frac{\partial\overline{t}}{\partial\overline{Y}}=0. \qquad (16)$$

Для шахматной схемы на твердой стенке и в разрезе условия такие же, как и в коридорной, смещение пластин в поперечном направлении учитывается соотношением для отсчета нормальной координаты на каждой последующей пластине после первой

$$\overline{Y}_{n+1}=\overline{h}-\overline{Y}_n \qquad (17)$$

В случае ламинарного течения система уравнений (11) – (13) упрощается за счет исключения неизвестных средних произведений пульсации $\overline{\overline{U}'\overline{V}'}$ и $\overline{\overline{V}'\overline{t}'}$. Решение системы уравнений плоского ламинарного ПС выполняется значительно проще, чем турбулентного.

Уравнения турбулентного ПС относительно средних величин совпадают с видом уравнений ламинарного ПС, если воспользоваться полной (эффективной) вязкостью и теплопроводностью. В этом случае система уравнений (11) – (13) принимает следующий вид:

$$\frac{\partial \overline{U}}{\partial \overline{X}} + \frac{\partial \overline{V}}{\partial \overline{Y}} = 0, \tag{18}$$

$$\overline{U}\frac{\partial \overline{U}}{\partial \overline{X}} + \overline{V}\frac{\partial \overline{U}}{\partial \overline{Y}} = -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial \overline{P}}{\partial \overline{X}} + \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial \overline{Y}}\left(\mu_э \frac{\partial \overline{U}}{\partial \overline{Y}}\right), \tag{19}$$

$$\overline{U}\frac{\partial \overline{t}}{\partial \overline{X}} + \overline{V}\frac{\partial \overline{t}}{\partial \overline{Y}} = \frac{1}{\rho C_P}\cdot\frac{\partial}{\partial \overline{Y}}\left(\lambda_э \frac{\partial \overline{t}}{\partial \overline{Y}}\right) \tag{20}$$

Эффективная вязкость и теплопроводность определяются

$$\mu_э = \mu + \mu_T, \tag{21}$$

$$\lambda_э = \lambda + \lambda_T. \tag{22}$$

Преобразование системы (11) – (13) в систему уравнений (18) – (20) выполнено на основании выражений Прандтля для турбулентных напряжений

$$\tau_T = -\rho\overline{\overline{U}'\overline{V}'} = \mu_T \frac{\partial \overline{U}}{\partial \overline{Y}} \tag{23}$$

и турбулентного теплового потока

$$q_T = -\rho C_P \overline{\overline{V}'\overline{t}'} = -\lambda_T \frac{\partial \overline{t}}{\partial \overline{Y}} \tag{24}$$

Граничные условия остаются без изменений, так как они определяются не режимом течения, а условиями, налагаемыми стенкой, симметрией и т.п.

При численном решении систему уравнений (18) – (20) целесообразно привести к безразмерному виду. С этой целью вводятся следующие безразмерные соотношения:

$$U = \overline{U}/\overline{U}_0\,,\ V = \overline{V}\,\mathrm{Re}/\overline{U}_0\,,\ \ P = \overline{P}/\rho\overline{U}_0^2\,,\ \ t = (\bar{t} - \bar{t}_W)/(\bar{t}_0 - \bar{t}_W)\,,$$
$$X = \overline{X}/\overline{H}\,\mathrm{Re}\,,\ \ Y = \overline{Y}/\overline{H}\,,\ \ \mathrm{Re} = \overline{U}_0\overline{H}/\nu\,. \tag{25}$$

В безразмерных величинах основные уравнения ММ (18) – (20) принимают следующий вид:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0\,, \tag{26}$$

$$U\frac{\partial U}{\partial X} + V\frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial Y}\left[\left(1 + \frac{\mu_T}{\mu}\right)\frac{\partial U}{\partial Y}\right], \tag{27}$$

$$U\frac{\partial t}{\partial X} + V\frac{\partial t}{\partial Y} = \frac{1}{\mathrm{Pr}}\cdot\frac{\partial}{\partial Y}\left[\left(1 + \frac{\lambda_T}{\lambda}\right)\frac{\partial t}{\partial Y}\right], \tag{28}$$

где $\mu_T = -\rho\dfrac{\overline{\overline{U}'\overline{V}'}}{\partial\overline{U}/\partial\overline{Y}}$, (29)

$$\lambda_T = -\rho C_P\frac{\overline{\bar{t}'\overline{V}'}}{\partial\bar{t}/\partial\overline{Y}}\,. \tag{30}$$

Граничные условия в безразмерных величинах перепишутся так:

на стенке

$$0 < X < L\,,\ Y = 0:\ U = V = t = 0\,, \tag{31}$$

на оси симметрии

$$0 < X < L\,,\ Y = 0{,}5:\ V = \frac{\partial V}{\partial Y} = \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{\partial t}{\partial Y} = 0\,, \tag{32}$$

в области разрыва

$$L < X < L + L_P\,,\ Y = 0\,,\ Y = 0{,}5:\ V = \frac{\partial V}{\partial Y} = \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{\partial t}{\partial Y} = 0\,. \tag{33}$$

Система уравнений (26) – (28) является незамкнутой и для решения требует дополнительных соотношений.

Дополнительные соотношения.

Замыкание системы уравнений (26) – (28) выполняется с помощью выражений для постоянства расхода в любом сечении канала

$$\int_0^1 UdU = 1 \tag{34}$$

и для эффективных коэффициентов переноса количества движения и тепла

$$\mu_э = \mu + \mu_T = \rho(\nu + \nu_T), \tag{35}$$

$$\lambda_э = \lambda + \lambda_T = \rho C_P(a + a_T). \tag{36}$$

При безградиентном течении выражение (34) исключается. Из выражений (35) и (36) следует, что при определении эффективных коэффициентов переноса основным вопросом является определение турбулентной вязкости μ_T и теплопроводности λ_T.

В литературе [321-323] изложены различные методы расчета характеристик турбулентных течений. В данной работе используется подход к решению уравнений турбулентного ПС с использованием полуэмпирических зависимостей для турбулентной вязкости и теплопроводности, получивших проверку при решении инженерных задач гидродинамики и теплообмена [321,324].

Течение в разрезном канале можно рассматривать как состоящее из двух частей – градиентное течение в плоскопараллельном канале и в разрезе пластин. Из-за коротких пластин и узких разрезов в обеих частях течение является развивающимся, которое с точки зрения определения коэффициентов турбулентного переноса намного хуже изучено, чем стабилизированные течения и внешнее обтекание поверхностей.

Известны только две работы [321,325], позволяющие «произвести сборку» формул, чтобы определить коэффициенты μ_T и λ_T для прерывистых

плоскопараллельных каналов. Для течения собственно в канале сведения получены из [321].

По Себиси и Брэдшоу [321] в плоскопараллельном канале можно выделить четко различающиеся области течения: сдвигового слоя, переходную и область полностью развитого течения. В коротких каналах не все области течения могут сформироваться.

В области сдвигового слоя скорость в ядре потока непрерывно возрастает вследствие увеличения толщины вытеснения и небольшого отрицательного градиента давления. Как отмечается в [321], если учесть, что градиент давления значительно меньше влияет на характеристики турбулентного течения, чем ламинарного, то в этой области можно применить модель турбулентной вязкости для безградиентного потока.

$$\nu_{T,1} = \bar{l}^2 \left(\frac{\partial \overline{U}}{\partial \overline{Y}} \right) \gamma_{TP} \gamma \tag{37}$$

При этом длина пути перемешивания может быть определена по соотношению

$$\bar{l} = K\overline{Y}\left[1 - \exp\left(-\overline{Y}/A\right)\right], \tag{38}$$

где К – постоянная величина, принимаемая равной 0,4;

А – постоянная длина демпфирования, для рассматриваемого течения определяется соотношением

$$A = 26\nu\left(\tau_W / \rho\right)^{-0,5}; \tag{39}$$

τ_W - касательное напряжение на стенке;

γ_{TP} и γ - коэффициенты перемежаемости.

Коэффициент перемежаемости, учитывающий переход ламинарного течения в турбулентное, определяется по эмпирической формуле

$$\gamma = 1 - \exp\left[-\frac{1}{1200} \mathrm{Re}_{X_{TP}}^{0,66} \left(\frac{\overline{X}}{\overline{X}_{TP}} - 1 \right)^2 \right], \tag{40}$$

где X_{TP} - продольная координата начала области перехода;

$\mathrm{Re}_{X_{TP}}$ - число Рейнольдса, отвечающее координате X_{TP}.

Продольную координату X_{TP} можно определить из выражения

$$\overline{X}_{TP} = \overline{h}\left(0{,}5 + 33 \cdot 10^4 \, \mathrm{Re}_d^{-1}\right), \tag{41}$$

которое получено в данной работе в результате обработки зависимостей местного числа Стантона от продольной координаты и числа Re для числа Прандтля $\mathrm{Pr} = 0{,}72$. Точность формулы (41) определилась масштабом рис.7.14 [321].

Коэффициент перемежаемости γ, учитывающий тот факт, что при приближении к внешней границе ПС турбулентность становится перемежающейся, то есть течение наблюдается турбулентным лишь часть всего времени, определяется соотношением

$$\gamma = \left[1 + 5{,}5 \left(\frac{\overline{Y}}{\overline{Y}_0} \right)^6 \right]^{-1}, \tag{42}$$

где $\overline{Y}_0$ - поперечная координата точки, в которой $\overline{U}/\overline{U}_0 = 0{,}995$.

В области полностью развитого течения авторы [20] рекомендуют определять длину пути перемешивания по формуле Никурадзе

$$\overline{l} = \overline{h}\left[0{,}14 - 0{,}08\left(1 - \frac{\overline{Y}}{\overline{h}}\right)^2 - 0{,}06\left(1 - \frac{\overline{Y}}{\overline{h}}\right)^4 \right]. \tag{43}$$

С учетом коэффициента демпфирования Ван Дриста турбулентная вязкость в этой области определяется выражением

$$\nu_{T,3} = \bar{l}^2 \left[1 - \exp P\left(-\bar{Y}/A\right)\right]^2 \left|\frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{Y}}\right|. \tag{44}$$

Для второй, переходной, области коэффициент турбулентной вязкости определяется по формуле [321]

$$\nu_{T,2} = \nu_{T,1} - \left(\nu_{T,3} - \nu_{T,1}\right) \cdot \left[1 - \exp\left(1 - \frac{\bar{X} - \bar{X}_0}{\lambda_0 \bar{h}}\right)\right], \tag{45}$$

где $\bar{X}_0$ - координата сечения, в котором сливаются сдвиговые слои; при расчетах слияния можно считать, что $\bar{\delta} = 0{,}99\bar{h}$;

λ_0 - эмпирический параметр, принимается равным 20.

Формулой (45) пользуются при $\bar{X} > \bar{X}_0$.

Течение в разрыве пластин принимается моделировать плоским следом или течением без ограничивающих стенок. В обоих случаях удовлетворительные результаты можно ожидать, используя следующие соотношения:

для турбулентной вязкости

$$\nu_T = \bar{l}^2 \left|\frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{Y}}\right|; \tag{46}$$

длины пути перемешивания [20]

$$\bar{l} = 0{,}075\bar{\delta}. \tag{47}$$

Коэффициент турбулентной теплопроводности λ_T определяется через турбулентное число Прандтля, которое для течения в канале принимается равным 0,8, а при течении в разрезе пластин как для плоской струи и следа – 0,5 [322].

Для решения уравнений представленной математической модели численным методом была использована неявная устойчивая четырехточечная схема, обладающая свойствами стабилизации высокочастотных возмущений и не требующая итераций [326], что особенно важно при расчете течений с переменными коэффициентами турбулентного переноса. Схема была модифицирована на решение с учетом особенностей определения μ_T, граничных условий, свойственных каналам с прерывистыми стенками и на решение уравнения энергии; относительно координатных шагов имеет второй порядок точности.

Для отладки метода расчета были выполнены численные расчеты для каналов с гладкими стенками. Результаты расчетов представлены на рис. 93 Графики профилей продольной скорости количественно и качественно указывают на достоверность полученных результатов. Для ламинарных течений профиль скорости по сечению канала параболический с максимальной величиной стабилизированного потока на оси канала, равной 1,5 средней скорости. Трапецеидальный профиль получен для турбулентного течения.

Для малых чисел Рейнольдса скорость на оси канала не превышает 90% максимальной скорости для ламинарного течения [302]. Разработанная математическая модель в сокращенном виде опубликована в [327].

В качестве основных теплогидравлических характеристик были выбраны продольная скорость на оси канала U_C, коэффициент гидравлического сопротивления C_f и критерий Стантона. Число Прандтля Pr принималось равным 0,63, что соответствует относительно высокой температуре газов.

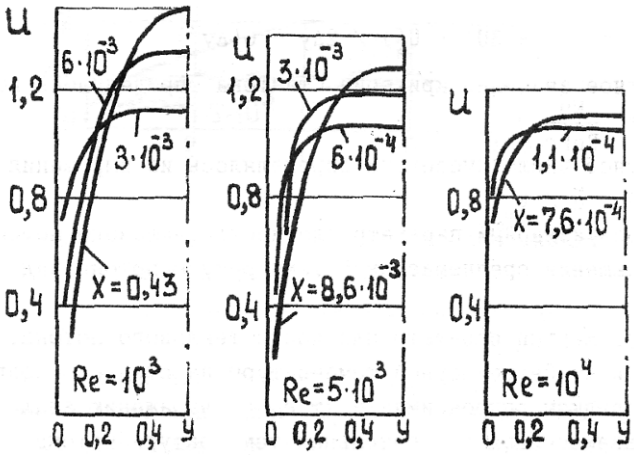


Рисунок 93. Изменение продольной скорости в различных сечениях канала $H = S = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

Коэффициент гидравлического сопротивления определялся из выражения [302]

$$C_f = 2\tau_W \big/ \rho U_0^2 . \tag{48}$$

По соотношениям для безразмерных величин, приведенных выше, выражение (48) было приведено к виду

$$C_f \cdot \mathrm{Re} = 2\left(\frac{\partial U}{\partial X}\right)_W . \tag{49}$$

Безразмерный градиент скорости на стенке определялся со вторым порядком точности, что согласовывалось с порядком аппроксимации основных разностных уравнений ММ

$$\frac{\partial U}{\partial Y} = \left(4U_1 - 3U_0 - U_2\right) \big/ \left[2\Delta Y + 0\left(\Delta Y^2\right)\right]. \tag{50}$$

Местное значение критерия Стантона определялось по формуле

$$St = Nu \big/ \mathrm{Re}\,\mathrm{Pr} . \tag{51}$$

Местное число Нуссельта определялось из выражения

$$Nu = -\overline{q}/t_m\,, \tag{52}$$

где $\overline{q}$ - безразмерный параметр плотности теплового потока на стенке;

t_m - превышение среднемассовой температуры потока над температурой стенки.

Безразмерный параметр плотности теплового потока, или, что то же, – градиент безразмерной температуры на стенке – определяется со вторым порядком аппроксимации, то есть по выражению аналогичному (50).

Среднемассовая относительная температура потока в данном сечении канала вычислялась по выражению

$$t_m = \frac{0{,}5t_0U_0\Delta Y_0 + \sum_{j=1}^{N-1} t_jU_j\Delta Y_j + 0{,}5t_NU_N\Delta Y_N}{0{,}5U_0\Delta Y_0 + \sum_{j=1}^{N-1} U_1\Delta Y_1 + 0{,}5U_N\Delta Y_N}, \tag{53}$$

где t_j, U_j - безразмерная температура и продольная скорость в j-м поперечном узле расчетной сетки;

N - число узлов в поперечном ряду сетки.

Кривые изменения продольной составляющей скорости U_C для гладких и прерывистых каналов приведены на рис. 4. Значение U_C косвенно указывает на профиль скорости в поперечном сечении канала и переход к стабилизированному течению. Чем ниже U_C, тем профиль скорости приближается к трапецеидальному, тем больше касательные напряжения и выше теплоотдача. В этом отношении прерывистые шахматные каналы по значению U_C существенно отличаются от гладких каналов.

Из рис. 94 следует, что с увеличением числа Рейнольдса скорость U_C снижается, а амплитуда колебания на гладком элементе шахматного прерывистого канала уменьшается. Можно отметить, что по этой причине на рис. 4 из-за мелкого масштаба не представилось возможным показать график

колебания U_C для течения при $\mathrm{Re} = 10^4$. В этом режиме максимальные колебания U_C на элементе канала составили всего лишь $\Delta_{\max} = 0{,}004$, в то время, как для течения при $\mathrm{Re} = 5 \cdot 10^3$ $\Delta_{\max} = 0{,}01$.

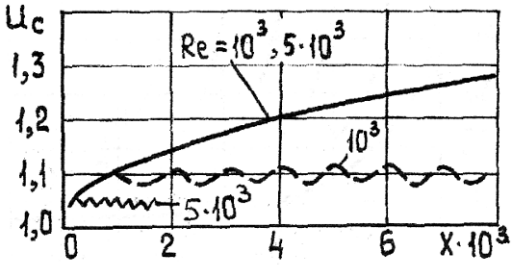


Рисунок 94. Изменение продольной скорости на оси канала:

_____ - сплошной канал

- - - - - - - - прерывистый шахматный канал, $H = S = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

Следует отметить, что совпадение U_C для гладких каналов для течений с разными числами Рейнольдса не случайно. Это объясняется тем, что при $\mathrm{Re} = 5 \cdot 10^3$ для безразмерной координаты $X = 7 \cdot 10^{-3}$ сохраняется автомодельность решения как на начальном участке [302].

На рисунках 95 и 96 и в таблице 32 представлены основные теплогидравлические характеристики исследуемых течений в каналах. Критерий Стантона и параметр гидравлического сопротивления $C_f \mathrm{Re}$ для шахматных прерывистых каналов резко отличаются от величин этих параметров для гладких каналов, исключение составляют начальные участки, равные длине элемента S.

Максимальные значения критерия Стантона $St_{\max}$ и параметра сопротивления $C_f \mathrm{Re}_{\max}$ имели место на входе потока в элемент, минимальные – на выходе. Перепады максимальных и минимальных значений указанных параметров ΔSt и $\Delta C_f \mathrm{Re}$ существенно зависят от числа Рейнольдса, по этой причине результаты численного эксперимента для $\mathrm{Re} = 10^4$ приведены только в таблице 32.

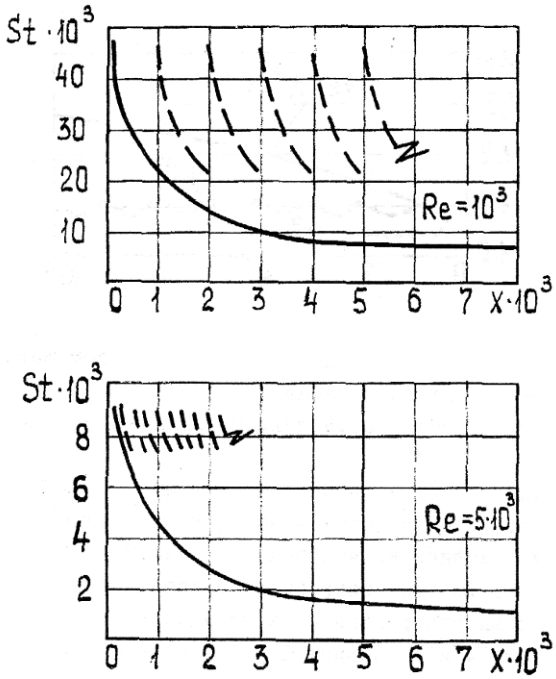


Рисунок 95. Значения чисел Стантона для сплошных и прерывистых шахматных каналов:

_____ - сплошной канал;

- - - - - - - - прерывистый шахматный канал, $H = S = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

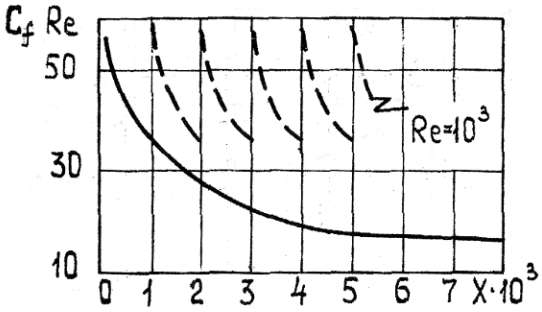


Рисунок 96. Параметр сопротивления C_f Re для сплошных и прерывистых каналов:

_____ - сплошной канал;

- - - - - - - - прерывистый шахматный канал, $H = S = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

Если учесть, что число Стантона пропорционально критерию Нуссельта и обратно пропорционально критерию Рейнольдса, то из данных рис. 95, рис. 96 и таблицы 32 следует, что изменение теплоотдачи и гидравлического сопротивления примерно одинаково зависят от Re.

Таблица 32

Изменения теплогидравлических параметров на элементе шахматного канала в зависимости от числа Рейнольдса. $H = S = 4 \cdot 10^{-3}$ *м.*

N Элемента	$\mathrm{Re} = 10^3$				$\mathrm{Re} = 10^4$			
	$St_{\max} \cdot 10^3$	$\Delta_{\max} \cdot 10^3$	$C_f \mathrm{Re}$	$\Delta_{\max}$	$St_{\max} \cdot 10^3$	$\Delta_{\max} \cdot 10^3$	$C_f \mathrm{Re}$	$\Delta_{\max}$
2	43,13	23,19	58,54	22,78	4,72	0,39	62,73	3,31
8	43,14	23,21	58,79	22,76	4,71	0,39	62,69	3,32

В теории конвективного теплообмена [302] особое значение имеет отношение числа Стантона к коэффициенту гидравлического сопротивления C_f.

Это отношение характеризует аналогию между количеством переноса тепла и импульса, при $2St/C_f = 1$ имеет место строгая аналогия. Однако для сложных течений и при отличии числа Прандтля от единицы, полная аналогия не наблюдается [321]. В случае исследования прерывистых шахматных каналов, полученное отклонение от аналогии Рейнольдса (рис. 97) можно объяснить сложным характером течения из-за смещений оси элементов канала, числом Прандтля и сложной моделью турбулентной вязкости в случае турбулентных течений.

В таблице 33 приведены теплогидравлические параметры для шахматных каналов с различной длиной элемента S. Основной результат данных этой таблицы состоит в том, что с увеличением длины элемента теплоотдача снижается и несколько быстрее, чем гидравлическое сопротивление, в связи с чем, при проектировании реальных теплообменников следует по возможности уменьшать длину элемента.

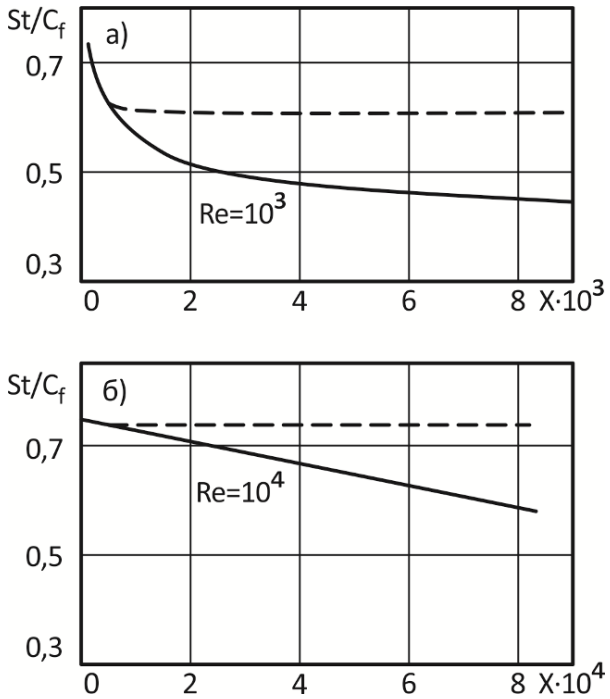


Рисунок 97 Теплогидравлическое отношение St/C_f для сплошных и прерывистых шахматных каналов:

———— - сплошной канал

- - - - - - - - прерывистый шахматный канал, $H = S = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

Таблица 33

Влияние длины элемента шахматного канала на теплогидравлические характеристики для $\mathrm{Re} = 5 \cdot 10^3$, $\mathrm{Pr} = 0{,}63$, $H = 4 \cdot 10^{-3}$ *м.*

N Элемент	$S = 4 \cdot 10^{-3}$ м				$S = 12 \cdot 10^{-3}$ м			
	$St_{\max} \cdot 10^3$	$\Delta St \cdot 10^3$	$C_f \mathrm{Re}_{\max}$	$\Delta C_f \mathrm{Re}$	$St_{\max} \cdot 10^3$	$\Delta St \cdot 10^3$	$C_f \mathrm{Re}_{\max}$	$\Delta C_f \mathrm{Re}$
2	9,34	1,49	62,27	6,37	8,97	3,53	60,50	16,25
3	9,33	1,49	62,23	6,38	8,96	3,53	60,45	16,24
5	9,32	1,48	62,23	6,38	8,96	3,53	60,45	16,24

Достоверность полученных результатов была проверена путем их сравнения с имеющимися в литературе.

Для гладких каналов при ламинарных течениях получено превосходное совпадение расчетных профилей скорости и теплогидравлических характеристик с приведенными в [302,321]. Данных для развивающихся

турбулентных течений в гладких каналах оказалось мало и они относятся к течениям при больших числах Рейнольдса - $3\cdot10^4\ldots1\cdot10^5$. Поэтому сравнение носило качественный характер и только косвенно подтверждает результаты данной работы [321].

Самым главным для данной работы было убедиться в достоверности расчетных данных для прерывистых шахматных каналов. С этой целью они были сопоставлены с результатами экспериментального исследования [328]. Результаты сравнения представлены в таблице 34.

Из таблицы 34 следует, что для таких сложных турбулентных течений, как в прерывистых шахматных каналах, можно считать удовлетворительным совпадение коэффициентов сопротивления C_f, Колборна j и отношения j/C_f, хотя в работе [328] были использованы несколько отличающиеся каналы.

Таблица 34

Сравнение опытных [328] и расчетных значений теплогидравлических характеристик шахматного канала при $\mathrm{Re}=5\cdot10^3$

$C_{fОП}$	C_f	$j_{ОП}$	j	$(j/C_f)_{ОП}$	(j/C_f)
0,017	0,011	0,009	0,007	0,53	0,64

Эксперимент был проведен для шестирядного шахматного пакета пластин с $S=50{,}8$ мм, $t=2{,}22$ мм; в анализируемых численных расчетах – шестирядный пакет с $S=12$ мм, $t=0$ мм. Завышенные значения C_f в [328] связаны, очевидно, в основном с лобовым сопротивлением толстых пластин, которое в численных исследованиях отсутствует. Длины элементов влияют на C_f в противоположном направлении, но это влияние не столь значительно, что следует из таблицы 33.

Реальным объектом численного исследования теплового состояния и теплоотдачи к трубе с просечным спирально-ленточным оребрением является цилиндрическая труба с многочисленными витками ребер. Греющая среда в

этом объекте движется в узких параллельных полуоткрытых кольцевых каналах, образованных наружной поверхностью трубы и боковыми поверхностями ребер. Гидродинамическая структура потока и условия теплообмена формируются геометрией каналов и режимом течения газов. Полагая, что условия теплообмена на стороне газов во всех витках практически одинаковы, объект исследования может быть представлен одним витком оребрения, состоящим из собственно ребра и прилегающих к нему участков несущей трубы, ограниченных плоскостями, проходящими через середины межреберных зазоров.

Допускается, что характер омывания газами поверхности и условия теплообмена для обоих полувитков симметричны относительно направления набегающего потока газов. Это позволяет принять в качестве физической модели объекта исследования половину витка.

По условиям теплообмена поверхности нагрева с греющими газами в принятой модели можно выделить три характерных участка поверхности: лепестки, сплошная часть ребра и наружная поверхность трубы в межреберном зазоре. Коэффициенты теплоотдачи на этих участках различны. Теплоотдача к лепесткам в большой мере зависит от угла атаки набегающего потока. Следовательно, тепловой поток к поверхности нагрева принятой физической модели можно представить как сумму тепловых потоков к отдельным, отмеченным выше, участкам этой поверхности.

При формировании математической модели принимается наличие симметрии тепловых характеристик относительно срединной плоскости ребра, перпендикулярной оси трубы. Учитывая отмеченные особенности, в качестве расчетного модуля принимается фрагмент поверхности теплообмена, состоящий из лепестка и примыкающих к нему секторов сплошного ребра и трубы. В направлении оси трубы модуль ограничен плоскостями, проходящими через середину межреберного зазора и середину толщины ребра (рис. 98).

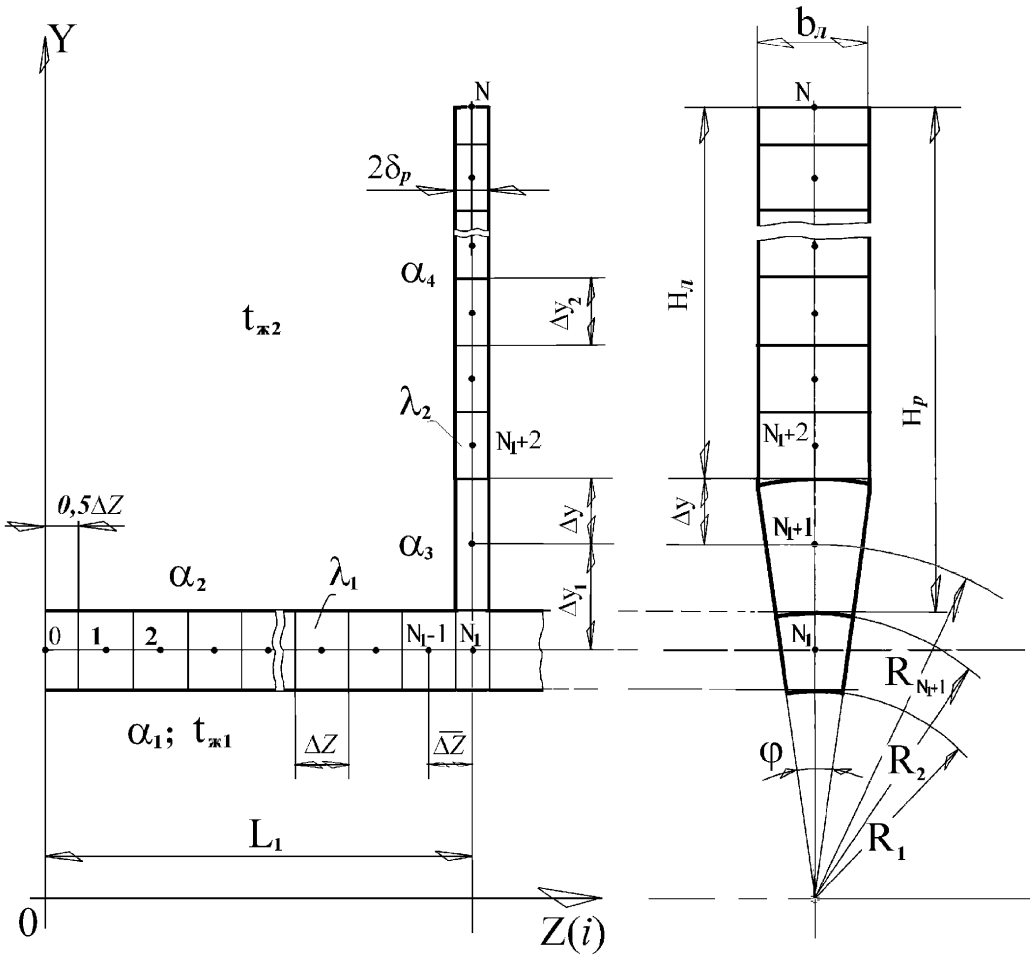


Рисунок 98. Схема расчетного модуля.

Для разработки математической модели теплового состояния элементов расчетный модуль разбивается на ряд элементарных объемов и на основании свойства консервативности формулируется система алгебраических уравнений, каждое из которых является аналогом уравнения энергии для соответствующего элементарного объема элемента расчетного модуля спирально-ленточного оребрения (рис. 98).

Элемент $i = 0$

Характерным для этого элемента является симметрия теплового состояния относительно сечения $Z = 0$:

$$q = 0; \quad \frac{dt}{dZ} = 0 .$$

В этом случае баланс энергии для элемента можно выразить уравнением

$$\frac{\lambda_1 \delta_1 \overline{R}}{\Delta Z} \varphi (t_1 - t_0) + 0{,}5 \Delta Z R_1 \varphi \alpha_1 (t_{Ж1} - t_0) + 0{,}5 \Delta Z R_2 \varphi \alpha_2 (t_{Ж2} - t_0) = 0, \quad (54)$$

где $\varphi = \frac{2\pi}{m}$ - угол в радианах, приходящийся на элемент;

m - число лепестков по окружности;

$\delta_1 = (R_2 - R_1)$ - толщина стенки трубы;

$\overline{R} = 0{,}5(R_1 + R_2)$; $\Delta Z = (L_1 - \delta_P)/(N_1 - 0{,}5)$ - шаг расчетных узлов на гладкой части трубы;

δ_P - половина толщины ребра;

L_1 - половина шага ребер.

Элементы $1 \le i \le N_1$-2

$$\frac{\lambda_1 \delta_1 \overline{R}}{\Delta Z} \varphi (t_{i-1} + t_{i+1} - 2t_i) + \Delta Z R_1 \varphi \alpha_1 (t_{Ж1} - t_i) + \Delta Z R_2 \varphi \alpha_2 (t_{Ж2} - t_i) = 0. \quad (55)$$

Элемент $i = N_1 - 1$

$$\begin{aligned} &\frac{\lambda_1 \delta_1 \overline{R}}{\Delta Z} \varphi (t_{N_1-2} - t_{N_1-1}) + \frac{\lambda_1 \delta_1 \overline{R}}{\Delta \overline{Z}} \varphi (t_{N_1} - t_{N_1-1}) + \\ &+ \Delta Z R_1 \varphi \alpha_1 (t_{Ж1} - t_{N_1-1}) + \Delta Z R_2 \varphi \alpha_2 (t_{Ж2} - t_{N_1-1}) = 0. \end{aligned} \quad (56)$$

Элемент $i = N_1$

$$\frac{\lambda_1 \delta_1 \overline{R}}{\Delta \overline{Z}} \varphi (t_{N_1-1} - t_{N_1}) + \frac{\lambda_{ср} \delta_p R_2}{\Delta y_1} \varphi (t_{N_1+1} - t_{N_1}) + \delta_P R_1 \varphi \alpha_1 (t_{Ж1} - t_{N_1}) = 0, \quad (57)$$

где $\lambda_{ср}$ - среднее значение коэффициента теплопроводности между элементами N_1 и $N_1 + 1$, определяемое из соотношения

$$\frac{\Delta y_1}{\lambda_{cp}} = \frac{0{,}5\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta y}{\lambda_2}; \quad \lambda_{cp} = \frac{\Delta y_1}{0{,}5\delta_1 / \lambda_1 + \Delta y / \lambda_2},$$

где $\Delta y = R_{N_1+1} - R_2$; $\Delta y_1 = 0{,}5\delta_1 + \Delta y$; $\Delta\overline{Z} = 0{,}5\Delta Z + \delta_P$;

$R_{N_1+1} = R_2 + \dfrac{H_P - H_л}{2}$ - радиус узла $N_1 + 1$(средний радиус неразрезанной части ребра).

Элемент $i = N_1 + 1$

$$\frac{\lambda_{cp}\delta_P R_2}{\Delta y_1}\varphi\left(t_{N_1} - t_{N_1+1}\right) + \frac{\lambda_2\delta_P\left(R_{N_1+1} + \Delta y\right)}{\Delta y + 0{,}5\Delta y_2}\varphi\left(t_{N_1+2} - t_{N_1+1}\right) + \\ + R_{N_1+1}2\Delta y\varphi\alpha_3\left(t_{Ж2} - t_{N_1+1}\right) = 0, \tag{58}$$

где $\Delta y_2 = H_л / \left(N - N_1 - 1{,}5\right)$.

Элемент $i = N_1 + 2$

$$\frac{\lambda_2\delta_P\left(R_{N_1+1} + \Delta y\right)\cdot\varphi}{\Delta y + 0{,}5\Delta y_2}\left(t_{N_1+1} - t_{N_1+2}\right) + \frac{\lambda_2\delta_P b_л\left(t_{N_1+3} - t_{N_1+2}\right)}{\Delta y_2} + \\ + \alpha_4\Delta y_2\left(b_л + 2\delta_P\right)\left(t_{Ж2} - t_{N_1+2}\right) = 0, \tag{59}$$

где $b_л = \left(R_{N_1+1} + \Delta y\right)\cdot\varphi$ - ширина лепестка.

Элементы $N_1+3 \le i \le N-1$

$$\frac{\lambda_2\delta_P b_л\left(t_{i-1} - t_i\right)}{\Delta y_2} + \frac{\lambda_2\delta_P b_л\left(t_{i+1} - t_i\right)}{\Delta y_2} + \alpha_4\Delta y_2\left(b_л + 2\delta_P\right)\left(t_{Ж2} - t_i\right) = 0. \tag{60}$$

Элемент $i = N$

$$\frac{\lambda_2\delta_P b_л\left(t_{i-1} - t_i\right)}{\Delta y_2} + \alpha_4\left[\frac{\Delta y_2}{2}\left(b_л + 2\delta_P\right) + b_л\delta_P\right]\left(t_{Ж2} - t_i\right) = 0. \tag{61}$$

Далее система уравнений (54) – (61) приводится к канонической системе алгебраических уравнений

$$a_i t_{i-1} - c_i t_i + b_i t_{i+1} + W_i = 0,$$

$$0 \le i \le N. \qquad (62)$$

Коэффициенты a_i, b_i и c_i и источниковый член W_i системы уравнений (2.62) определяются из уравнений (54) – (61) путем сравнения коэффициентов при соответствующих слагаемых. Эти коэффициенты и источниковый член будут равны:

***i* = 0:** $a_0 = 0,\ b_0 = 1,\ C_0 = b_0 + d_0 + g_0,\ d_0 = 0{,}5\Delta Z^2 \varphi_1 \alpha_1 / \lambda_1 \delta_1,$

$g_0 = 0{,}5\Delta Z^2 \varphi_2 \alpha_2 / \lambda_1 \delta_1,\ W_0 = d_0 t_{Ж1} + g_0 t_{Ж2},\ \varphi_1 = R_1 / \overline{R},\ \varphi_2 = R_2 / \overline{R}.$

1≤ *i* ≤ *N₁* – 2: $a_i = 1,\ b_i = 1,\ c_i = a_i + b_i + d_i + g_i,\ d_i = \Delta Z^2 \varphi_1 \alpha_1 / \lambda_1 \delta_1,$

$g_i = \Delta Z^2 \varphi_2 \alpha_2 / \lambda_1 \delta_1,\ W_i = d_i t_{Ж1} + g_i t_{Ж2}.$

***i* =*N₁* – 1:** $a_i = 1,\ b_i = \dfrac{\Delta Z}{\Delta \overline{Z}},\ c_i = a_i + b_i + d_i + g_i,\ d_i = \Delta Z^2 \varphi_1 \alpha_1 / \lambda_1 \delta_1,$

$g_i = \Delta Z^2 \varphi_2 \alpha_2 / \lambda_1 \delta_1,\ W_i = d_i t_{Ж1} + g_i t_{Ж2}.$

***i* =*N₁*:** $a_{N_1} = 1, b_{N_1} = \lambda_{cp} \delta_p \Delta \overline{Z} \varphi_2 / \lambda_1 \delta_1 \Delta y_1, c_{N_1} = a_{N_1} + b_{N_1} + d_{N_1},$

$d_{N_1} = \Delta \overline{Z} \delta_p \varphi_1 \alpha_1 / \lambda_1 \delta_1,\ g_{N_1} = 0,\ W_{N_1} = d_{N_1} t_{Ж1}.$

***i* =*N₁* + 1:** $a_{N_1+1} = 1,\ b_{N_1+1} = \lambda_2 (R_{N_1+1} + \Delta y) \Delta y_1 / \left[\lambda_{cp} R_2 (\Delta y + 0{,}5\Delta y_2)\right],$

$d_{N_1+1} = 0,$

$g_{N_1+1} = R_{N_1+1} 2\Delta y \Delta y_1 \alpha_3 / R_2 \delta_P \lambda_{cp},\ c_{N_1+1} = a_{N_1+1} + b_{N_1+1} + g_{N_1+1},$

$W_{N_1+1} = g_{N_1+1} t_{Ж2}.$

***i* =*N₁* + 2:** $a_{N_1+2} = 1,\ b_{N_1+2} = b_л (\Delta y + 0{,}5\Delta y_2) / \left[(R_{N_1+1} + \Delta y) \Delta y_2 \varphi\right],$

$d_{N_1+2} = 0,\ g_{N_1+2} = \Delta y_2 (b_л + 2\delta_p) \cdot (\Delta y + 0{,}5\Delta y_2) \alpha_4 / \left[\lambda_2 \delta_p (R_{N_1+1} + \Delta y) \varphi\right],$

$W_{N_1+2} = g_{N_1+2} t_{Ж2}.$

***N₁*+ 3≤ *i* ≤ *N* – 1:** $a_i = 1,\ b_i = 1,\ c_i = a_i + b_i + g_i,\ d_i = 0,$

$g_i = (b_л + 2\delta_P) \Delta y_2^2 \alpha_4 / \lambda_2 \delta_P b_л,\ W_i = g_i t_{Ж2}.$

***i* =*N*:** $a_N = 1,\ b_N = 0,\ c_N = a_N + g_N,$

$g_N = \left[0{,}5\Delta y_2 (b_л + 2\delta_P) + b_л \delta_P\right] \Delta y_2 \alpha_4 / \lambda_2 \delta_P b_л,$

$d_N = 0,\ W_N = g_N t_{Ж2}$.

Решение системы алгебраических уравнений (62) при известных значениях коэффициентов a_i, b_i, d_i, g_i, W_i выполняется по алгоритму метода прогонки

$$t_i = A_i t_{i+1} + B_i, \quad 0 \le i \le N-1. \tag{63}$$

Чтобы воспользоваться рекуррентной формулой (63) требуется определить прогоночные коэффициенты A_i и B_i для $i = 0;1;...N-2;N-1$ и температуру в граничном узле $i = N$. Прогоночные коэффициенты можно определить последовательным использованием системы алгебраических уравнений (62). Для нулевого элемента, в котором выполняется условие отсутствия теплового потока через сечение $Z = 0$, $\frac{dt}{dZ} = 0$ можно записать (62) в таком виде

$$-c_0 t_0 + b_0 t_1 + W_0 = 0, \tag{64}$$

откуда

$$t_0 = \frac{b_0}{c_0} t_1 + \frac{W_0}{c_0}. \tag{65}$$

Сравнивая выражение (65) с рекуррентной формулой (63), можно записать

$$t_0 = A_0 t_1 + B_0. \tag{66}$$

Сравнивая (65) и (66), получаем

$$A_0 = \frac{b_0}{c_0}, \tag{67}$$

$$B_0 = \frac{W_0}{c_0}. \tag{68}$$

Далее уравнение (62) для элемента $i = 1$ записывается в таком виде

$$a_1 A_0 t_1 + a_1 B_0 - c_1 t_1 + b_1 t_2 + W_1 = 0 \tag{69}$$

и преобразуется к виду

$$t_1 = \frac{b_1}{c_1 - a_1 A_0} t_2 + \frac{W_1 + a_1 B_0}{c_1 - a_1 A_0}. \tag{70}$$

Сравнение (63) с формулой (70) позволяет записать

$$A_1 = \frac{b_1}{c_1 - a_1 A_0}, \tag{71}$$

$$B_1 = \frac{W_1 + a_1 B_0}{c_1 - a_1 A_0}. \tag{72}$$

Очевидно, что для всех элементов $1 \le i \le N-1$ прогоночные коэффициенты будут определяться по соотношениям, аналогичным (71) и (72)

$$A_i = \frac{b_i}{c_i - a_i A_{i-1}}, \tag{73}$$

$$B_i = \frac{W_i + a_i B_{i-1}}{c_i - a_i A_{i-1}}. \tag{74}$$

Температура в граничном элементе получается из общего выражения (62), записав его для узла $i = N$

$$a_N t_{N-1} - c_N t_N + b_N t_{N+1} + W_N = 0.$$

(75)

Учитывая, что $b_N = 0$, а

$$t_{N-1} = A_{N-1} t_N + B_{N-1}, \tag{76}$$

после преобразований соотношения (75) с учетом выражения (76) получается

$$t_N = \frac{W_N + a_N B_{N-1}}{c_N - a_N A_{N-1}}. \qquad (77)$$

Имея t_N, по рекуррентной формуле (63), можно получить температуру во всех расчетных элементах в такой последовательности: t_{N-1}, t_{N-2},... t_1, t_0.

Входящие в уравнения (54) – (61) коэффициенты теплоотдачи α_1, α_2, α_3 и α_4 определяются по известным критериальным уравнениям. Коэффициент α_1 для случая течения жидкости внутри круглой трубы вычисляется по уравнению, приведенному в [329]; коэффициент α_2 - по критериальному уравнению для случая поперечного обтекания одиночной трубы [330]. Теплофизические коэффициенты воды ($\lambda_{Ж1}$, $\nu_{Ж1}$ и $\mathrm{Pr}_{Ж1}$) определяются по уравнениям нелинейной аппроксимации табличных данных; для газов ($\lambda_{Ж2}$, $\nu_{Ж2}$ и $\mathrm{Pr}_{Ж2}$) – по [331].

Анализ условий теплообмена и поисковые расчеты позволили принять, что коэффициенты теплоотдачи к поверхности сплошной части ребра и лепестка на стороне газов можно рассчитывать по одному критериальному уравнению для случая обдува плоской пластины [330] при $\mathrm{Re}_{Ж2} \le 40000$ (в практической области использования просечного оребрения $\mathrm{Re}_{Ж2}$ не превышает 40000).

$$Nu_d = 0{,}66\,\mathrm{Re}_{Ж2}^{0,5}\,\mathrm{Pr}_{Ж2}^{0,33}\left(\mathrm{Pr}_{Ж2}/\mathrm{Pr}_{ст}\right)^{0,25}. \qquad (78)$$

В качестве характерного геометрического размера принят параметр, условно названный длиной линии тока. Для сплошной части ребра в пределах физической модели он равен

$$d_H^* = \pi\left(R_2 + \frac{H_P - H_л}{2}\right), \qquad (79)$$

для лепестков – определяется предварительно в зависимости от $H_л$, $b_л$ и угла расположения лепестка относительно направления набегающего потока, усредняется в пределах физической модели и задается в исходных данных.

В первой серии расчетов, в которых исследовались тепловые характеристики низкого толстого и высокого тонкого ребра, в качестве характерного размера лепестка принималась его ширина.

Используя рассчитанные значения t_i, α_i и площади поверхности теплообмена отдельных составляющих поверхности расчетного модуля, определяются тепловые потоки через каждый элементарный объем, а также суммарные тепловые потоки для модуля, физической модели и витка оребрения. Полученные значения теплового потока для витка позволяют выполнить параметрический анализ оребренной поверхности, то есть определить удельные показатели тепловой эффективности поверхности теплообмена – тепловые потоки, приходящиеся на единицу длины трубы - Q_L, единицу объема - Q_V и единицу массы трубы - Q_M. Кроме того, определяется среднеповерхностный коэффициент теплоотдачи расчетного модуля со стороны газов:

$$\overline{\alpha} = \frac{\alpha_2 F_T + \alpha_3 F_H + \alpha_4 F_л}{F_T + F_H + F_л}, \qquad (80)$$

где F_T, F_H и $F_л$ - соответственно поверхности нагрева трубы, сплошной части ребра и лепестка.

Значение теплового потока на расчетном модуле - Q рассчитывается со стороны газов с использованием найденных значений t_i, α_i F_i и $t_{Ж2}$ и со стороны воды через найденные значения t_i для трубы, α_1 F_{TB} и $t_{Ж1}$, где F_{TB} - внутренняя поверхность нагрева трубы, приходящаяся на один расчетный модуль. Оба значения Q практически совпадают во всех вариантах расчета, что свидетельствует об адекватности математической модели и ее высокой точности.

Кроме указанных параметров определяется также коэффициент тепловой эффективности ребра по соотношению

$$E = t_{Ж2} - \bar{t}_P / t_{Ж2} - \bar{t}_{OC}\,,$$

(81)

где $t_{Ж2}$ – начальная температура газов;

$\bar{t}_P$ – усредненная по объему температура ребра;

$\bar{t}_{OC}$ – усредненная по объему температура стенки трубы;

$\bar{t}_P$ и $\bar{t}_{OC}$ рассчитываются по приведенным выше соотношениям.

Разработанный метод численного моделирования теплового состояния и теплоотдачи к трубе с просечным спирально-ленточным оребрением опубликован в [332].

В основном численном эксперименте определялось влияние основных геометрических характеристик просечного оребрения – шага ребер S_P, высоты ребра H_P, высоты лепестка $H_л$, ширины лепестка $b_л$ и толщины ребра δ_P на величину площади поверхности теплообмена элементов расчетного модуля и витка оребрения, на тепловосприятие поверхностей теплообмена витка оребрения Q, тепловые потоки на единицу длины трубы Q_L, единицу объема Q_V, единицу массы Q_M, среднеповерхностный коэффициент теплоотдачи $\overline{\alpha}$ и коэффициент тепловой эффективности оребренной поверхности E.

В качестве базовой была принята поверхность нагрева в виде оребренной трубы со следующими геометрическими характеристиками: несущая труба – $d_H \times \delta = 28 \times 3$ мм; $S_P = 6{,}0$ мм; $\delta_P = 1{,}0$ мм; $H_P = 14{,}5$ мм; $H_л = 9{,}5$ мм; $b_л = 4{,}0$ мм. Греющая среда – дымовые газы. Нагреваемая среда – некипящая вода. Начальные температуры и скорости теплоносителей:

вода: $t_{Ж1} = 240^0$ С; $U_1 = 0{,}5$ м/с;

газы: $t_{Ж2} = 500^0$ С; $U_2 = 7{,}5$ м/с.

Всего было проведено семь серий численных расчетов. В каждой серии изменялся один геометрический размер, остальные – соответствовали размерам базовой поверхности. В одной серии расчеты выполнены при изменении скорости газов в пределах 3,0…17,5 м/с и базовой геометрии оребрения.

Шаг ребер изменялся в пределах 4,0…12,0 мм; высота ребра – 10,0…17,5 мм при $H_л = 9{,}5$ мм; высота ребра – от 10 до 17,5 мм при изменении $H_л$ соответственно от 6,55 до 11,46 мм; $H_л / H_P = 0{,}655$; высота лепестка – в пределах 2,9…14,5 мм при $H_P = 14{,}5$ мм; толщина ребра δ_P – от 0,6 до 1,8 мм; ширина лепестка $b_л$ – в пределах 3,0…12,0 мм.

Во всех сериях численного эксперимента определялась температура в центрах каждого элементарного объема стенки трубы, сплошной части ребра и лепестка.

Результаты численного моделирования представлены на рис. 99, где на отдельных подрисунках представлены зависимости относительных значений показателей эффективности теплообмена $\overline{\alpha}/(\overline{\alpha})_{\max}$, $Q/Q_{\max}$, $Q_L/(Q_L)_{\max}$, $Q_V/(Q_V)_{\max}$, $Q_M/(Q_M)_{\max}$ и $t_P^M/(t_P^M)_{\max}$ от варьируемых геометрических размеров оребрения. В качестве максимальных значений показателей эффективности теплообмена принимались наибольшие их значения из шести серий численного эксперимента (исключая серию с изменением скорости потока). Принятый способ представления графических зависимостей позволяет наиболее компактно сгруппировать результаты расчетов и определить условия достижения наибольших значений показателей тепловой эффективности оребрения.

Далее приведены результаты и анализ влияния геометрических характеристик оребрения на показатели эффективности теплообмена.

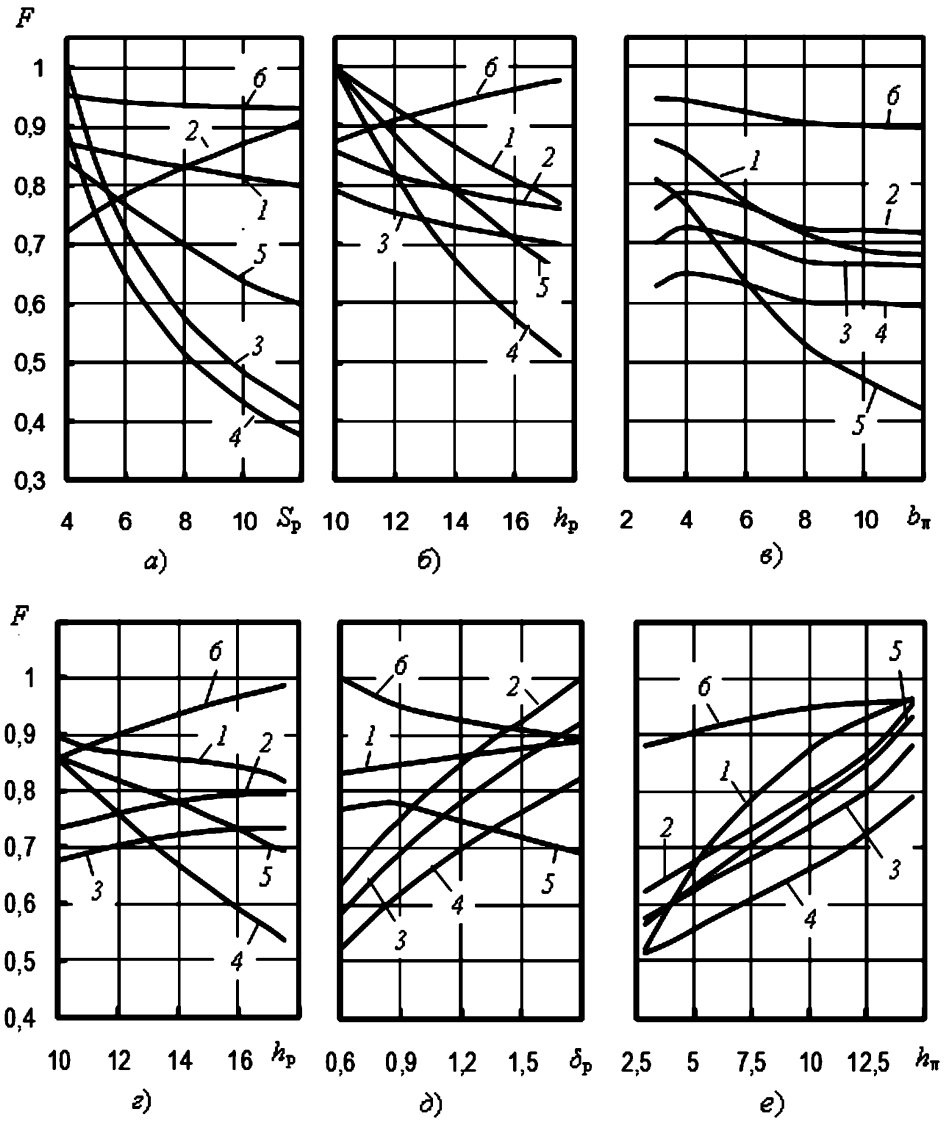


Рисунок 99. Результаты численного исследования тепловых характеристик трубы с просечным спирально-ленточным оребрением.

F: 1 – $\overline{\alpha}/(\overline{\alpha})_{\max}$; 2 – $Q/Q_{\max}$; 3 – $Q_L/(Q_L)_{\max}$; 4 – $Q_V/(Q_V)_{\max}$;

5 – $Q_M/(Q_M)_{\max}$; 6 – $t_P^M/(t_P^M)_{\max}$.

Для принятых исходных данных максимальные значения отдельных показателей составляют: $\overline{\alpha}_{\max}$ = 144,13 Вт/м^2·°С; $Q_{\max}$ = 81,50 Вт; $(Q_L)_{\max}$ = 14,71 кВт/м; $(Q_V)_{\max}$ = 6443 кВт/м^3; $(Q_M)_{\max}$ = 3,67 кВт/кг; $(t_P^M)_{\max}$ = 421,67 °С, (t_P^M) – максимальная температура ребра в условиях изменения одного геометрического размера.

Изменение шага ребер. Характер и степень изменения удельных показателей эффективности теплообмена в принятом диапазоне изменения S_P видны из рис. 99,а. Уменьшение среднеповерхностного коэффициента теплоотдачи $\overline{\alpha}$ на 8,36% с увеличением шага ребер объясняется увеличением доли поверхности теплообмена несущей трубы с относительно низким коэффициентом теплоотдачи α_2 = 57,3 Вт/м^2 °С в общей поверхности витка.

Увеличение теплового потока Q обусловлено увеличением общей поверхности теплообмена витка на 18,2 % и разности усредненных температур газов и поверхности в среднем на ~10 %. При неизменной начальной температуре газов снижение температуры поверхности теплообмена обусловлено увеличением теплоотвода от внутренней поверхности трубы в границах витка вследствие увеличения ее площади при неизменном коэффициенте теплоотдачи $\alpha_1 = 5108$ Вт/м$^2\cdot{}^0$С. Снижение удельных теплосъемов Q_L и Q_V на 57,93% каждого при увеличении тепловосприятия на 26,2 % объясняется увеличением длины и объема витка в 3 раза в пределах изменения S_P.

При увеличении шага ребер в отмеченных выше пределах масса витка увеличивается в 1,77 раза за счет увеличения длины несущей трубы, а общий тепловой поток увеличивается в 1,26 раза. Это и определило снижение Q_M в 1,4 раза.

Коэффициент тепловой эффективности оребрения E при увеличении шага ребер снижается от 0,601 до 0,592 .

Увеличение высоты ребра при неизменной высоте лепестка вызывает снижение всех показателей тепловой эффективности и значительное увеличение максимальной температуры ребра (рис. 99,б).

Уменьшение среднеповерхностного коэффициента теплоотдачи $\overline{\alpha}$ на 23,24% является следствием увеличения доли менее эффективной в отношении теплообмена поверхности сплошной части ребра в общей поверхности ребра от 2,9 % до 37,5 % и уменьшения коэффициента теплоотдачи к поверхности

сплошной части ребра на 11,0 % вследствие увеличения ее характерного геометрического размера.

Изменение теплового потока Q обусловлено уменьшением $\overline{\alpha}$, увеличением общей поверхности теплообмена на 55,4 % и уменьшением усредненной по поверхности разности температур газов и поверхности элементов оребрения на 31,0 °С.

Удельный тепловой поток на единицу длины трубы Q_L изменяется аналогично изменению Q. В то же время тепловой поток на единицу объема Q_V изменяется более существенно вследствие увеличения объема витка оребрения на 41,9 % и уменьшения теплового потока на 11,6 %.

Увеличение высоты ребра вызывает увеличение массы витка оребренной трубы. При уменьшении теплового потока это приводит к уменьшению Q_M на 34,6%.

Максимальная температура ребра t_P^M при увеличении высоты ребра повышается вследствие ослабления кондуктивной составляющей теплопереноса. Коэффициент тепловой эффективности оребрения при увеличении высоты ребра и неизменной высоте лепестка снижается от 0,692 до 0,551.

Увеличение высоты ребра и лепестка при постоянном их отношении *Hл*/*HP*=0,655 (рис. 99,г) вызывает уменьшение среднеповерхностного коэффициента теплоотдачи, рассчитанного по [31] на 8,7%, по причине уменьшения коэффициентов теплоотдачи к сплошной части ребра на 3,88% и к лепестку на 11,87%, обусловленного увеличением определяющего геометрического размера d^* (для лепестка $d_л^*$, для сплошной части ребра d_H^*), вычисляемых по [332].

Тепловой поток Q с увеличением высоты ребра изменяется вследствие влияния трех факторов – увеличения общей поверхности ребра на 64,4 % за счет поверхности сплошной части ребра на 89,5% и лепестка на 70,65%, уменьшения среднеповерхностного коэффициента теплоотдачи и уменьшения

усредненной разности температур газов и поверхности теплообмена на 19 %. Так как длина трубы на одном витке в этом случае не изменяется, изменение Q_L адекватно изменению Q. Уменьшение Q_V и Q_M объясняется тем, что объем и масса витка увеличиваются в большей мере, чем увеличивается тепловосприятие Q. Максимальная температура ребра t_P^M повышается на 54,7 °С вследствие уменьшения передачи тепла теплопроводностью. Коэффициент тепловой эффективности оребрения с увеличением высоты ребра снижается от 0,709 до 0,543.

Увеличение ширины лепестка (рис. 99,в) вызывает уменьшение всех удельных показателей тепловой эффективности оребрения и максимальной температуры ребра. Среднеповерхностный коэффициент теплоотдачи уменьшается на 22% за счет уменьшения коэффициента теплоотдачи к лепестку по причине увеличения характерного размера $d_л^*$ лепестка. Характер изменения тепловых потоков Q, Q_L и Q_V одинаков и объясняется одновременным уменьшением $\overline{\alpha}$, увеличением поверхности лепестка и увеличением средней разности температур газов и элементов оребренной поверхности. Снижение температуры элементов ребра объясняется увеличением площади их поперечного сечения и увеличением по этой причине передачи тепла теплопроводностью, а также уменьшением теплового потока от газов к поверхности конвекцией. Более существенно уменьшается тепловой поток на единицу массы Q_M, так как одновременно снижается тепловосприятие Q и увеличивается масса витка за счет уменьшения числа просечек.

Коэффициент тепловой эффективности оребрения при увеличении ширины лепестка увеличивается от 0,612 до 0,646.

Увеличение толщины ребра (рис. 99,д) вызывает увеличение $\overline{\alpha}$ за счет увеличения поверхности торцов и лепестка в целом на 30,7 % и уменьшения поверхности трубы на 22,2 % при неизменной поверхности сплошной части ребра. Тепловой поток Q увеличивается на 58,3 % вследствие увеличения

поверхности витка на 17,3 %; доли поверхности лепестка в ней от 0,607 до 0,685, увеличения $\overline{\alpha}$ и усредненной разности температур газов и поверхности. Удельные тепловые потоки Q_L и Q_V также увеличиваются на 58,3 % каждый вследствие неизменности длины и объема витка при изменении толщины ребра. Тепловой поток на единицу массы Q_M при увеличении толщины ребра уменьшается так как прирост массы витка на 78 % превалирует над приращением теплового потока Q.

Коэффициент тепловой эффективности оребренной поверхности увеличивается от 0,510 до 0, 685.

Изменение высоты лепестка от 2,9 до 14,5 мм при неизменной высоте ребра ведет к увеличению всех анализируемых показателей: (рис. 99,е). Увеличение $\overline{\alpha}$ является следствием возрастания доли поверхности лепестков в общей поверхности витка от 0,206 до 0,898, хотя одновременно уменьшается коэффициент теплоотдачи лепестка в 1,4 раза из-за увеличения $d_л^*$. Величина изменения тепловых потоков Q, Q_L и Q_V определяется ростом $\overline{\alpha}$, увеличением поверхности лепестка за счет уменьшения сплошной части ребра, а также уменьшением усредненной разности температур газов и поверхности витка на 23 °С. Тепловой поток на единицу массы Q_M увеличивается за счет увеличения Q и уменьшения массы витка на 7,3 %. Коэффициент тепловой эффективности оребрения в заданном диапазоне увеличения $H_л$ изменяется от 0,636 до 0,586.

Изменение скорости газов от 3,0 до 17,5 м/с при неизменной геометрии оребрения увеличивает все анализируемые показатели: $\overline{\alpha}$ − на 123,6 % (77,59…173,49); Q, Q_L, Q_V и Q_M − на 54,0 % каждый, (соответственно: 49,28…75,93Вт; 8,213…12,655кВт/м; 3218,6…4959,3кВт/м^3 и 2,163…3,334кВт/кг) и t_P^M − на 56,9 °С (364,9…421,8 °С). Коэффициент тепловой эффективности с изменением скорости газов практически не изменяется и составляет ≈ 0,649.

Непосредственно из зависимостей, приведенных на рис. 99, можно определить сочетание геометрических размеров для достижения рациональных значений отдельных частных параметров тепловой эффективности оребренной поверхности. Для достижения максимального тепловосприятия $Q_{\max}$ следует принимать максимальное значение S_P, h_P, $h_л$ и δ_P при близкой к минимальной ширине лепестка $b_л$. В пределах условий численного эксперимента это: S_P= 12,0; h_P=17,5; $h_л$= 11,8; δ_P= 1,8; $b_л$= 4,0мм. $Q_V^{\max}$ достигается при минимальных значениях S_P, h_P, $h_л$, $b_л$ и максимальном значении δ_P (S_P= 4,0; h_P=10,0; $h_л$= 6,6; δ_P= 1,8; $b_л$= 4,0,мм). Для получения $Q_M^{\max}$ следует принимать минимальные значения всех размеров оребрения (S_P= 4,0; h_P=10,0; $h_л$= 6,6; $b_л$= 3,0; δ_P= 0,6,мм). Минимальная температура ребра получается при максимальных значениях S_P, $b_л$ и δ_P и минимальных значениях h_P и $h_л$ (S_P= 12,0; h_P=10,0; $h_л$= 6,6; $b_л$= 12,0; δ_P= 1,8,мм).

Выбор частного параметра оптимизации определяется назначением теплообменной поверхности и дополнительными требованиями для конкретных условий ее использования.

Определение однозначного оптимального сочетания геометрических размеров оребрения в условиях разнонаправленного их влияния на отдельные характеристики теплообмена независимо от конкретных требований к теплообменной поверхности не имеет смысла. Можно лишь говорить о геометрии оребрения, обеспечивающей приемлемые сочетания значений частных параметров эффективности теплообмена. На основании анализа результатов численного исследования и дополнительных расчетов в пределах условий проведенного исследования можно рекомендовать следующее обобщенное сочетание геометрических размеров оребрения: S_P= 4,0; h_P=13,0; $h_л$= 8,5; $b_л$= 4,0; δ_P= 1,2,мм. В сравнении с вариантом геометрии для $Q = Q_{\max}$ при указанных геометрических размерах тепловосприятия Q уменьшается на 35,3%, Q_V увеличивается на 184,9%, Q_M увеличивается на 81,9%, $\overline{\alpha}$ - на 12,5%.

По сравнению с вариантом $Q_V = Q_V^{\max}$ тепловой поток Q снижается на 8,2%, Q_V - на 21,8%, Q_M увеличивается на 17,0%; $\overline{\alpha}$ снижается на 6,3%. По отношению к варианту для $Q_M = Q_M^{\max}$ тепловосприятие увеличивается на 22,4%, Q_V - на 4,3%, Q_M уменьшается на 1,2%, $\overline{\alpha}$ практически не изменяется.

Представленные на рис. 99 результаты численных исследований показывают значительное влияние на среднеповерхностный коэффициент теплоотдачи высоты лепестков, их ширины, а также толщины ребра, что указывает на необходимость учета этого влияния в уравнениях для инженерных расчетов теплоотдачи, построенных на основе обобщения результатов физического эксперимента по среднеповерхностному теплообмену. Очевидно, что обобщающий геометрический параметр – коэффициент оребрения – в случае просечного оребрения не учитывает в полной мере обнаруженные закономерности. Поэтому предлагается ввести в указанные уравнения поправочные коэффициенты, учитывающие отмеченное влияние соответствующих геометрических размеров. Для нахождения этих коэффициентов можно воспользоваться зависимостями $\overline{\alpha}/\overline{\alpha}_{\max} = f\left(h_л/h_{л,\max}\right)$, $\overline{\alpha}_K/\overline{\alpha}_{K,Б} = f\left(b_л/b_{л,Б}\right)$ и $\overline{\alpha}_K/\overline{\alpha}_{K,Б} = f\left(\delta_P/\delta_{P,Б}\right)$, представленными на рис. 100 - 102.

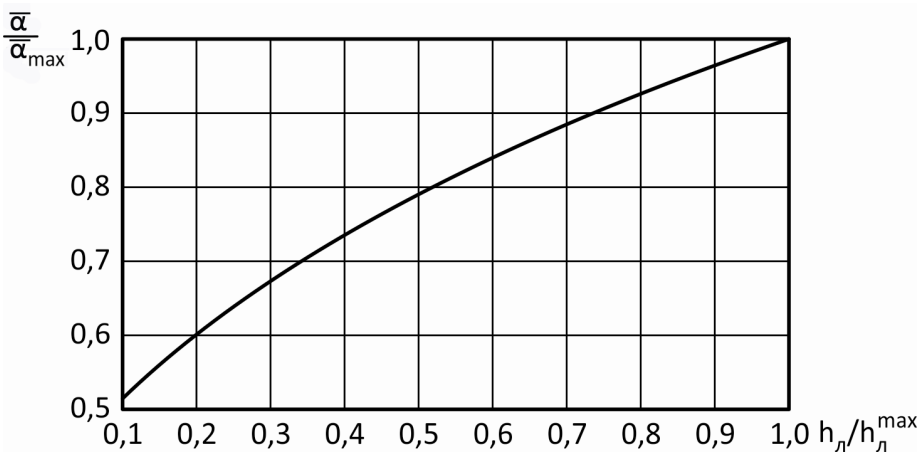


Рисунок 100. Зависимость $\overline{\alpha}_K/\overline{\alpha}_{K,\max}$ от относительной высоты лепестка.

На основании рис. 100 поправка на относительную высоту лепестка в пределах изменения $h_л/h_{л,\max}=$ 0,1…1,0 может быть вычислена со среднеквадратичной погрешностью $\delta=\pm1{,}84\,\%$ по уравнению

$$C_h=0{,}995\left(h_л/h_{л,\max}\right)^{0{,}321}. \qquad (82)$$

При заданных значениях h_P максимальная высота $h_л$ определяется из упоминавшегося выше соотношения $h_{л,\max}=0{,}66h_P$ и далее по (82) определяется коэффициент C_h.

В зависимости, представленной на рис. 101 в качестве базовой ширины лепестка принято значение $b_{л,Б}=4{,}0$ мм, как наиболее широко применяемое. При ширине лепестка менее 4,0мм ухудшаются условия изготовления, уменьшается жесткость конструкции и увеличивается склонность к вибрации. Увеличение ширины лепестков ухудшает все теплотехнические показатели оребрения и может применяться только с целью повышения жесткости конструкции теплообменника и увеличения степени оребрения ψ за счет сокращения числа просечек.

Зависимость $\overline{\alpha}/\overline{\alpha}_Б$ аппроксимирована функцией

$$C_b=0{,}925-0{,}125th\left[\frac{b_л}{b_{л,Б}}-\left(\frac{b_л}{b_{л,Б}}\right)_0\right], \qquad (83)$$

описывающей графическую зависимость со среднеквадратичной погрешностью 1,87% в области изменения $b_л=3{,}0\ldots12{,}0$.

В уравнении (83) величина $\left(b_л/b_{л,Б}\right)_0$ определена по рис. 101 как соответствующая координата точки перегиба кривой зависимости $\overline{\alpha}/\overline{\alpha}_Б=f\left(b_л/b_{л,Б}\right)$ и составляет 1,4.

Влияние толщины ребра на теплоотдачу незначительно и описывается линейной зависимостью (рис. 102).

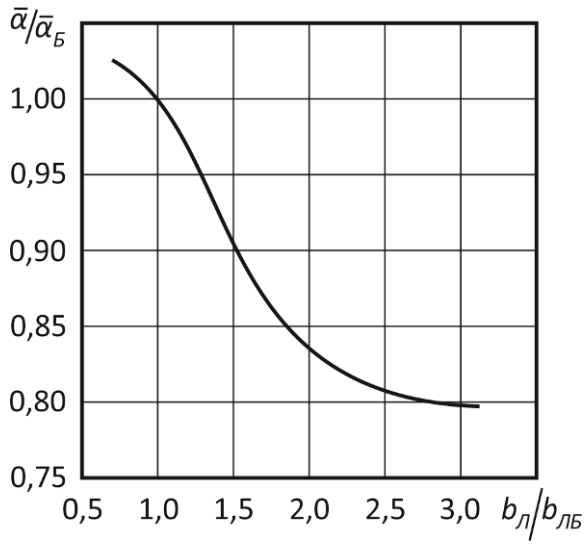


Рисунок 101. Зависимость относительного среднеповерхностного коэффициента теплоотдачи от относительной ширины лепестка.

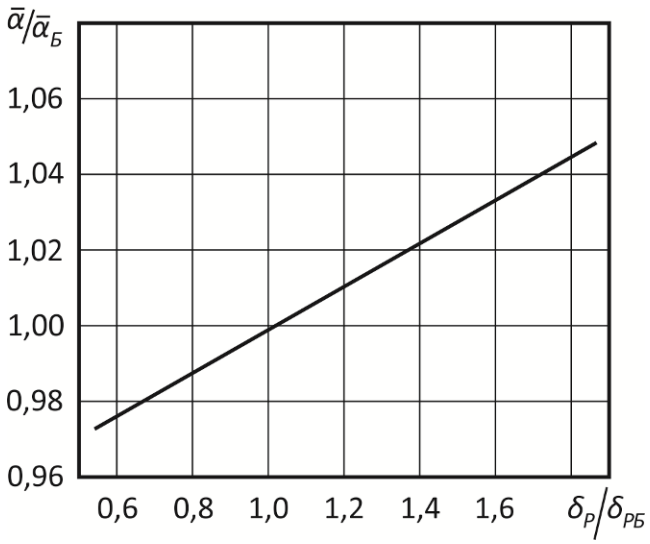


Рисунок 102. Зависимость относительного среднеповерхностного коэффициента теплоотдачи от относительной толщины ребра.

Зависимость $\overline{\alpha}/\overline{\alpha}_Б = f\left(\delta_Р/\delta_{Р,Б}\right)$, аппроксимирована линейной функцией, которая использована для определения коэффициента C_δ

$$C_\delta = 0{,}94 + 0{,}057\left(\delta_Р/\delta_{Р,Б}\right). \qquad (84)$$

Немаловажное значение имеет уровень и распределение температур элементов оребренной трубы. Он определяет область применения оребрения и оказывает влияние на теплообмен. На температурные поля элементов оребренной трубы влияют все параметры, которые варьировались в численном исследовании. Это расширяет возможности выбора геометрии оребрения при необходимости его использования в области относительно высоких температур. На рис. 103 представлено распределение температур в трубе и ребре при изменении шага ребер, из которого следует, что с увеличением шага температура как трубы, так и ребра снижается.

Аналогично получены распределения температур в элементах оребренной трубы при изменении всех варьируемых параметров.

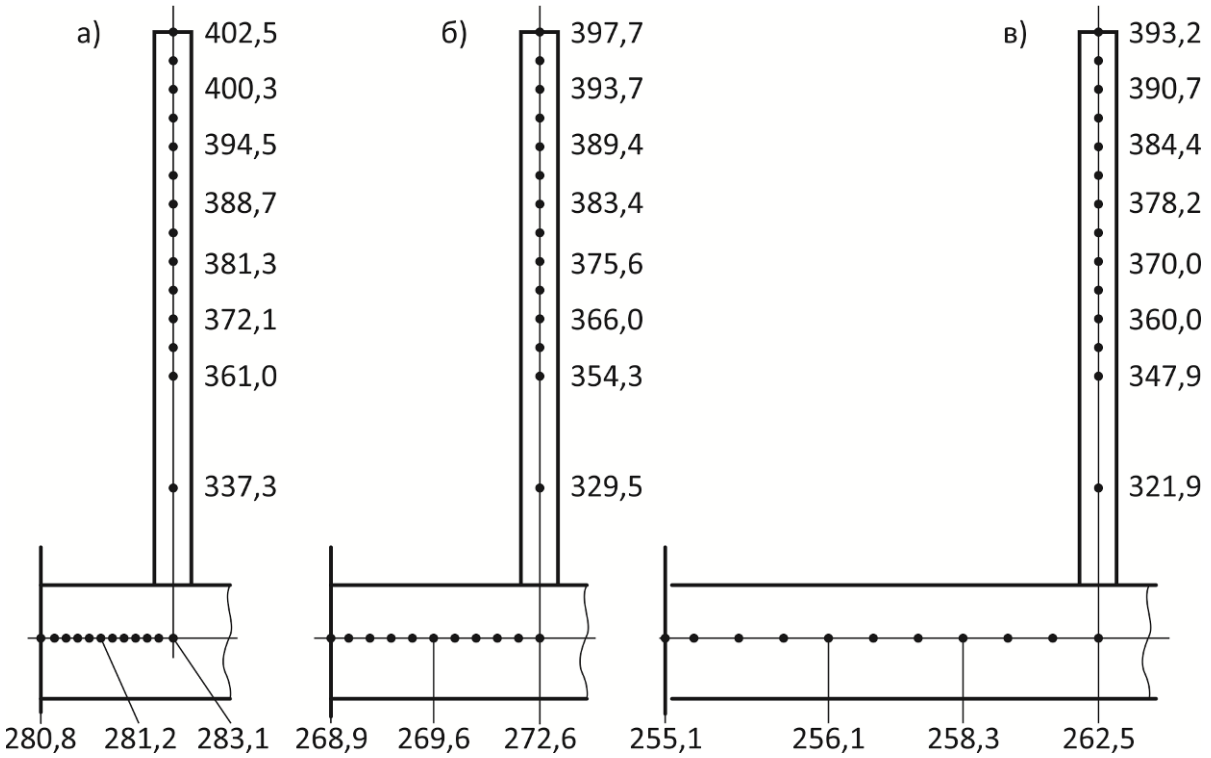


Рисунок 103. Распределение температур в элементах расчетного модуля при изменении шага ребер:

а) $S_р$ = 4мм; б) $S_р$ = 6мм; в) $S_р$ = 12мм.

Основные результаты численных исследований опубликованы в [333].

В результате выполненных численных исследований научно обоснованное предположение о возможности интенсификации теплообмена в каналах путем прерывания их стенок подтверждено научно доказанными фактами.

Установлено качественное и количественное влияние всех геометрических размеров просеченного спирального оребрения на интенсификацию теплообмена, что создает возможность выбора рационального их сочетания для конкретных условий применения.

SECTION 13.
METROLOGY, STANDARDIZATION AND CONFORMITY ASSESSMENT

13.1 Sensor for measuring conductive interference

Категорія 501 стандарту НАТО AECTP-500:2016 [334] містить процедури випробувань електронного, електричного та електромеханічного обладнання та підсистем. Випробування необхідні для зменшення ризику виникнення проблем з електромагнітними перешкодами, коли обладнання інтегруються в загальну систему та перед тим, як можна буде провести повне тестування на рівні системи. Підсистеми та обладнання повинні відповідати вимогам щодо контролю рівня емісії завад до проводів живлення. Відповідність перевіряється тестами, що відповідають індивідуальним вимогам. Коли обладнання або підсистема має бути встановлена на більш ніж одному типі платформи або установки, воно повинно відповідати найсуворішим із діючих. Для надводних кораблів і підводних човнів метою випробувань є контроль над впливом емісії завад до кабелів системі розподілу енергії судна. Гармоніки лінійних струмів обмежені для кожного електричного навантаження, підключеного до системи розподілу енергії.

Для повітряних об’єктів, головне питання полягає у забезпеченні того, щоб бортове обладнання не погіршувало якість електроенергії (допустиме спотворення напруги) на силових шинах, наявних на платформі. Для літальних апаратів, що використовують обладнання для пошуку підводних човнів, регламентуються неприйнятні рівні струмів, які обмежуватимуть можливості систем пошуку магнітних аномалій та акустичних датчиків. Розглянемо обладнання, яке потрібно для реалізації вимірювань за видом NCE01 Conducted Emissions, Power Leads, 30 Hz to 10 kHz [334].

Розділ 3.11 стандарту [334] стосується методики вимірювань кондуктивної емісії низькочастотних радіозавад у проводах електроживлення зразків обладнання (EUT). Ця вимога застосована для проводів електроживлення,

включаючи зворотні, за якими бортове обладнання отримує живлення з інших джерел, які не є частиною EUT. Рівні кондуктивної емісії від EUT на проводах електроживлення не повинні перевищувати регламентованих значень, які показано у стандарті [1] на рисунках NCE01-1 – NCE01-4.

Структурна схема вимірювання емісії низькочастотних радіозавад наведена на рис. 104 (Fig. NCE01-6 [334]), з якої видно, що для вимірювання використовується безконтактний датчик струму.

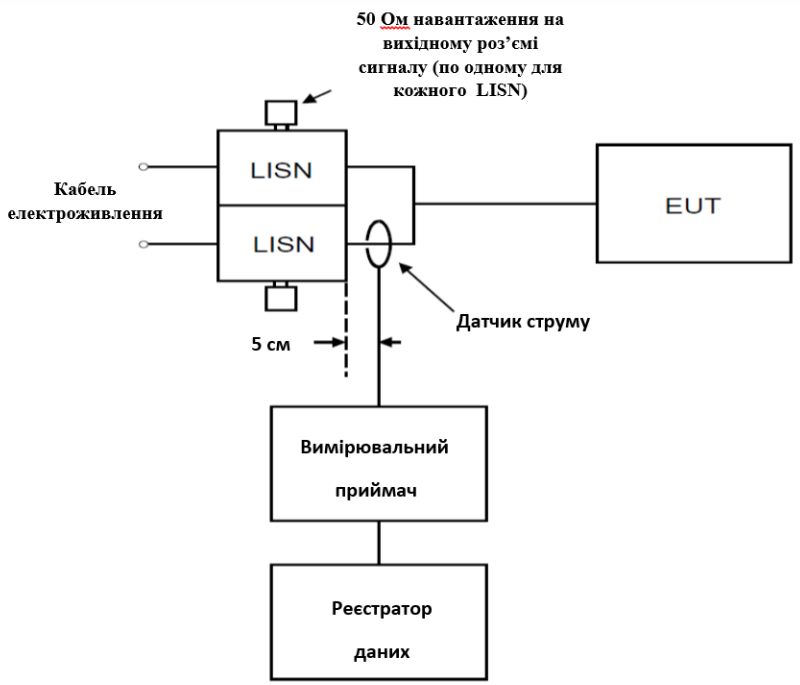


Рисунок 104. Вимірювальна установка за методом NCE01 [334]

Для проведення випробувань потрібно створити зразок первинного перетворювача для визначення рівня кондуктивних завад у мережі електричного живлення у діапазоні частот від 30 Гц до 10 кГц. Первинний перетворювач (струмознімач) має бути безконтактним та відповідати таким технічним вимогам, які визначено на основі сталої практики:

– амплітудний діапазон, дБ мкА 60 – 130;

– частотний діапазон, кГц 0,03 – 10;

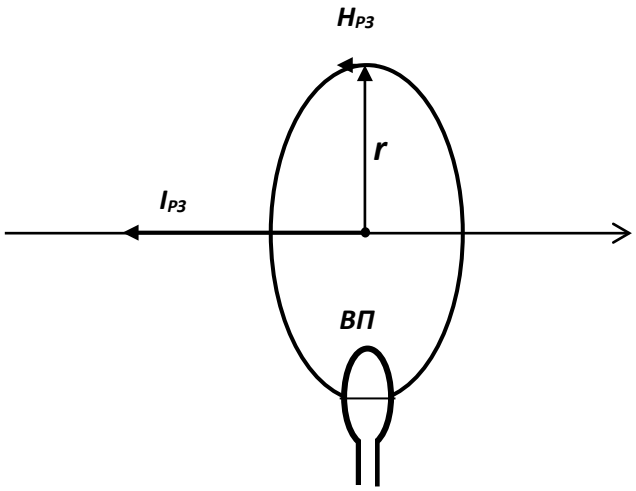
– похибка вимірювання, дБ (без реєстратора) ± 1;

– форма струмознімача – тор із внутрішнім діаметром ≥ 60 мм, зовнішній діаметр та товщина тору – не нормуються.

В якості реєстратору застосовується селективний нановольтметр. Серед різних типів обрано струмознімач індукційного типу (пояс Роговського), який працює наступним чином: струми радіозавад ($I_{РЗ}$), які потрібно вимірювати у проводах електроживлення, створюють навколо себе змінне магнітне поле кільцевого виду (рис. 105) з напруженістю $H_{РЗ}$, форма якого співпадає з формою $I_{РЗ}$, а амплітуда розраховується за формулою:

$$H_{РЗ} = \frac{I_{РЗ}}{2\pi r}, \qquad (1)$$

де r – відстань від проводу зі струмом до силової лінії магнітного поля.



ВП - вимірювальний перетворювач (струмознімач).

Рисунок 105. Розташування струмознімача

Якщо перпендикулярно до силової лінії магнітного поля розмістити котушку, то на кінцях цієї котушки виникає електрорушійна сила $e_{РЗ}$, яка розраховується за формулою (2)

$$e_{РЗ} = \mu_0 sw \frac{dH_{РЗ}}{dt} = \frac{\mu_0 sw}{2\pi r} \cdot \frac{dI_{РЗ}}{dt}, \qquad (2)$$

де μ_0 – 4π 10^{-7} Гн/м; s – площина котушки (м^2); w – кількість витків.

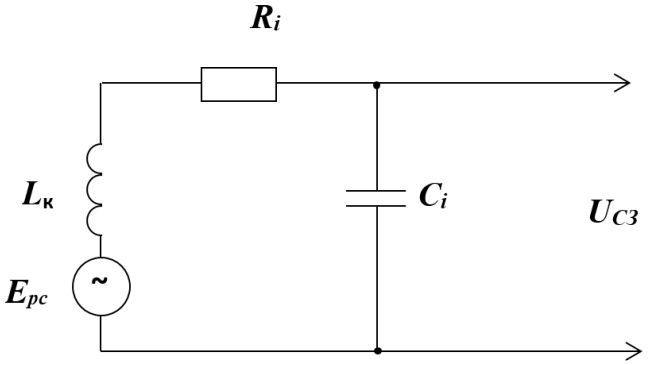
Якщо струми, що вимірюються, мають синусоїдальну форму виду:

$$I_{РЗ} = I_m \sin \omega t, \qquad (3)$$

то формула (2) перетворюється у формулу (4):

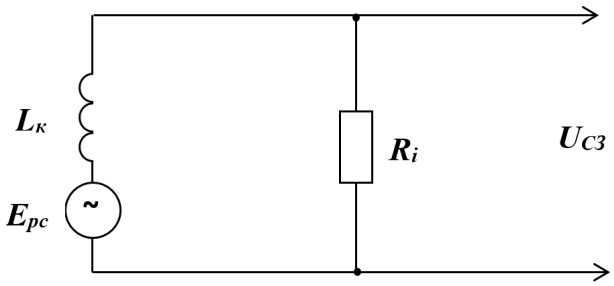
$$e_{P3} = \frac{2 \cdot 10^{-7} sw}{r} \cdot \omega \cdot I_m \cdot cos\omega t \,. \qquad (4)$$

Таким чином, напруга на виході котушки за формою збігається з формою вимірюваних струмів, а за амплітудою – пропорційна похідній від вимірюваних струмів. Напруга на виході струмознімача (СЗ) лінійно залежить від частоти вимірюваних струмів, тому на практиці на виході СЗ встановлюють пасивні інтегратори – RC (рис. 106), або RL (рис. 107) типів, на виході яких напруга буде пропорційна амплітуді вимірюваних струмів у діапазоні частот, при яких $Ts \geq \frac{10}{f}$, де T_s – постійна інтегрування; $f = \omega / 2\pi$ – частота струму. Для RC-інтеграторів $T_{sc}=R_i\, C_i$, а для RL-інтеграторів $T_{sL}=L_к / R_i$.



E_{pc} – електрорушійна сила; L_K – індуктивність СЗ; R_i – інтегруючий резистор; C_i – інтегруюча ємність; U_{C3} – напруга на виході струмознімача

Рисунок 106. Електрична схема струмознімача з RC-інтегратором



E_{pc} – електрорушійна сила; L_K – індуктивність ВП;

R_i – інтегруючий резистор; U_{C3} – напруга на виході струмознімача

Рисунок 107. Електрична струмознімача з RL-інтегратором

Напруга на виході СЗ (U_{C3}) розраховується за формулою (5):

$$U_{C3} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \mu_r sw}{r \cdot T_s} \cdot I_m \cdot cos\omega t \qquad (5)$$

де μ_r – відносна магнітна проникність середи.

Одним з основних метрологічних показників струмознімача є коефіцієнт перетворення ($K_П$), який розраховується за формулою (6):

$$K_n = \frac{U_{C3}}{I_m} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \mu_r sw}{r \cdot T_s} \cdot cos\omega t\,. \qquad (6)$$

Проведені розрахунки K_n показали, що для заданого частотного діапазону потрібно використати феритове осердя з $\mu_r \geq 10^3$. В якості феритового осердя застосовано феритове кільце марки 2000НН з габаритами: зовнішній діаметр 120 мм, внутрішній діаметр 80 мм, товщина 25 мм. Вибір такого кільця обумовлений тим, що у порожнечу кільця потрібно пропускати провід з вимірюваним струмом, причому цей провід може бути з роз'ємом. На практиці габарити роз'єму можуть досягати 60 мм. Для захисту струмознімача від сторонніх електричних полів ВП розміщується у середині електростатичного екрану з проріззю по утворюючій лінії.

Вибір конструктивних параметрів СЗ складається з двох основних розділів:

– вибір кількості витків та довжини вимірювального кабелю;

– вибір типу інтегратора.

Для аналізу та вибору кількості витків було враховано відносну магнітну проникність феритового кільця $\mu_r = 2000$. З іншої сторони кожен виток у цьому разі має мінімальні габарити 40 х 25 мм, таким чином мінімальна площина дорівнює 10^{-3} м^2. При мінімальному струмі 60 дБ мкА та мінімальному сигналу (1 мкВ), який може зафіксувати селективний нановольтметр Unipan 237, коефіцієнт $K_П$ має бути не менш ніж 1 дБ (мкВ/мкА). При $w = 1$ $U_{C3} = 0{,}08$ мкВ,

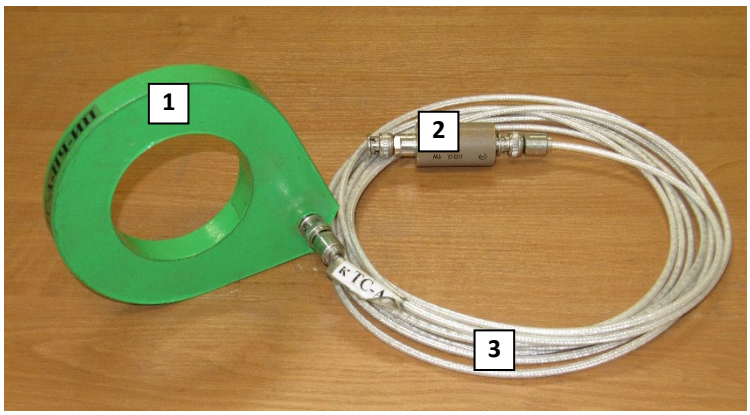
що значно нижче чутливості нановольтметра. Тому у експериментальному зразку вибрано $w = 20$.

Другим фактором для вибору конструктивних параметрів СЗ є електричний

резонанс у контурі струмознімача (індуктивність L_K та ємність вимірювального кабелю), частота якого повинна бути значно вище 10 кГц, що витікає з вимог частотного діапазону струмознімача. Експериментальні дослідження показали, що довжина вимірювального кабелю марки РК50 повинна бути не більш 5 м. У реальному зразку застосовано кабель довжиною 3 м. Остаточні конструктивні параметри експериментального зразку струмознімача такі: $w = 20$ на феритовому кільці марки 2000НН з габаритами: зовнішній діаметр 120 мм, внутрішній діаметр 80 мм, товщина 25 мм; вимірювальній кабель марки РК50-2-21 довжиною 3 м.

Постійна інтегрування інтегратору повинна бути не менш 0,1 с. Для RC-інтегратора його елементи повинні бути R_i = 100 кОм, а C_i = 1 мкФ. Створення інтегратора з такими параметрами доволі складна задача, тому що треба компенсувати паразитні параметри елементів інтегратора. З іншого боку, RL-інтегратор не має таких вад, тому що при індуктивності експериментального зразка інтегруючий резистор R_i може бути 50 Ом. При цьому паразитні параметри цього резистора можна не враховувати.

За визначеними параметрами створено експериментальний зразок струмознімача, який повністю відповідає вимогам виду вимірювань NCE01. Зовнішній вид зразку струмознімача СР(NCE01), наведено на рис. 108.



1 – вимірювальний перетворювач ВП в електростатичному екрані;

2 – інтегруючий резистор R_i;

3 – вимірювальний кабель, довжиною 3 м.

Рисунок 108. Зовнішній вигляд експериментального зразка СР(NCE01)

Конструктивні та метрологічні характеристики експериментального зразка СР(NCE01) наведено в табл. 35.

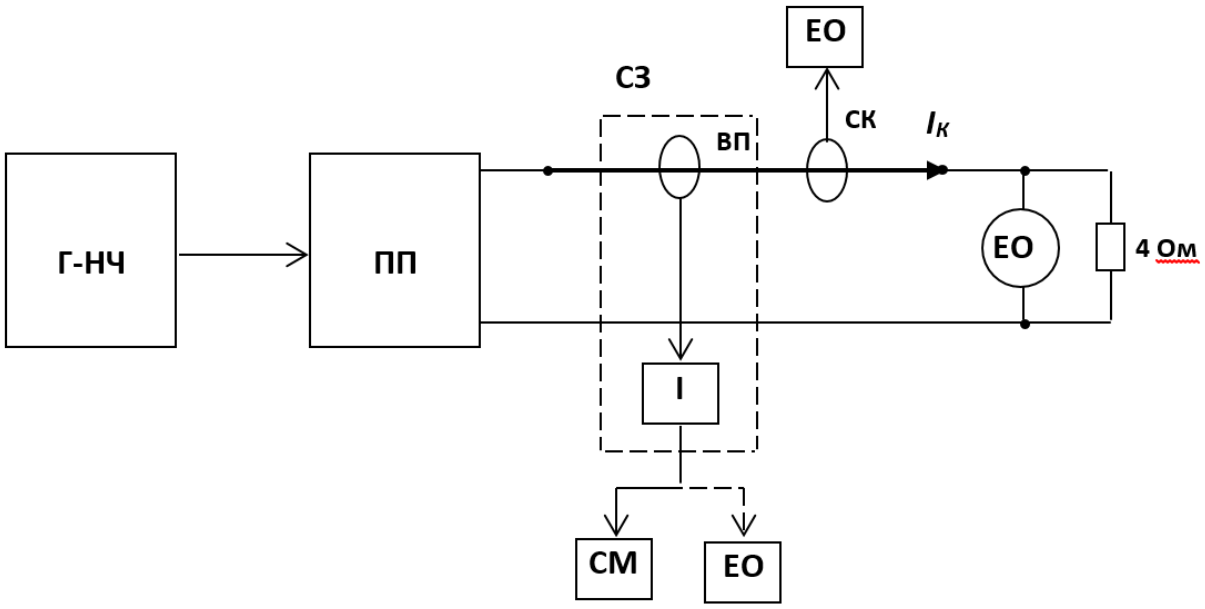
Таблиця 35

Основні характеристики струмознімача СР(NCE01)

Найменування характеристики	Розмірність	Величина
1. Смуга робочих частот	кГц	0,03 - 100
2 Діапазон вимірюваний струмів радіозавад	дБ (відн. 1 мкА)	10 - 134
3 Коефіцієнт калібрування	дБ	див. рис. 111
4 Внутрішній діаметр СЗ	мм	80
5 Габаритні розміри	мм	d=120x25
6. Маса	кг	0,5

Для визначення метрологічних характеристик струмознімача CP(NCE01) проведено процедуру калібрування у частотному діапазоні від 30 Гц до 10 кГц (з можливістю перевірки до 100 кГц), амплітудному діапазоні від 60 дБ мкА (1 мА) до 130 дБ мкА (3 А). Для цього створено калібрувальну установку, схему якої представлено на рис. 109.

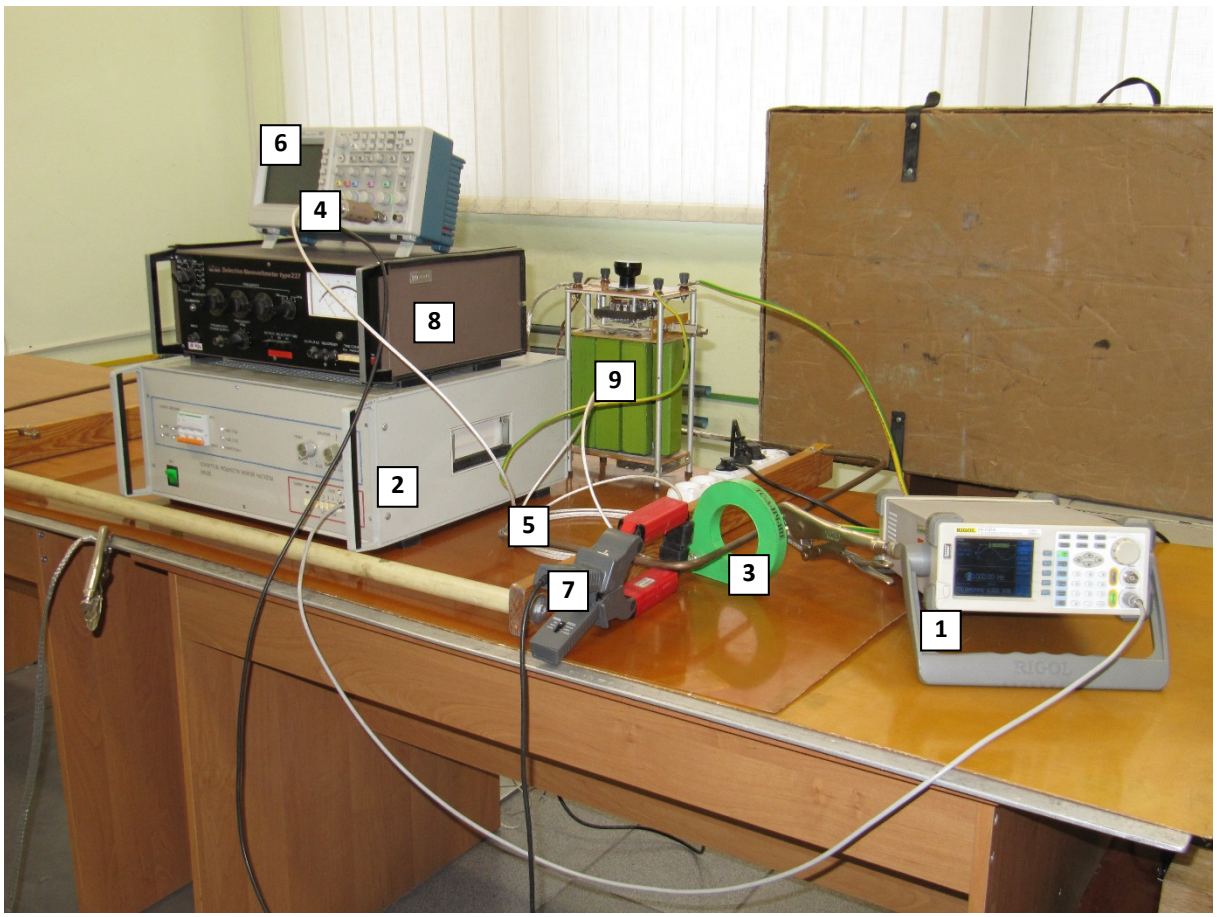
Г-НЧ – генератор низьких частот; ПП – підсилювач потужності;



СЗ – струмознімач; ВП – вимірювальний перетворювач; I – інтегратор;
ЕО – осцилограф; СК – струмовимірювальні кліщі Fluke i3000s;
СМ – селективний нановольтметр

Рисунок 109. Схема калібрувальної установки

На рис. 110 наведено фотографію робочого місця, зібраного за схемою рис. 109.



1 – генератор низьких частот Rigol DG3121A;

2 – підсилювач потужності УМ-400;

3 – вимірювальний перетворювач;

4 – інтегратор;

5 – вимірювальний кабель;

6 – осцилограф Tektronix TDS 2024B;

7 – струмовимірювальні кліщі Fluke i3000s;

8 – селективний нановольтметр Unipan 237;

9 – навантаження 4 Ом

Рисунок 110. Фотографія робочого місця для перевірки метрологічних характеристик експериментального зразка струмознімача CP(NCE01)

Основною метрологічною характеристикою струмознімача CP(NCE01) є коефіцієнт перетворення, який визначається за формулою (7)

$$K_n = \frac{I_m(A)}{U_{СЗ}(B)}, \quad (7)$$

де $U_{СЗ}$ – напруга на виході СЗ при амплітуді вимірюваного струму I_m.

Згідно зі світовою практикою у галузі ЕМС, усі розрахунки ведуть в децибелах (дБ), які визначаються, наприклад, як

$$I_m(дБ \cdot мкА) = 20 \log I_m(мкА).$$

Тому, формула (7) трансформується у формулу (8).

$$K_П(дБ \cdot мкА / мкВ) = I_m(дБ \cdot мкА) - U_{СЗ}(дБ \cdot мкВ). \quad (8)$$

При встановленні метрологічних характеристик був визначений амплітудно-частотний діапазон, у якому амплітудна характеристика лінійна. Для виявлення цього діапазону проведені вимірювання напруги на виході струмознімача при випробувальних струмах 1 мА (60 дБ мкА), 10 мА (80 дБ мкА), 100 мА (100 дБ мкА), 1 А (120 дБ мкА), 2 А (126 дБ мкА), 3 А (130 дБ мкА), 4 А (132 дБ мкА),5 мА (134 дБ мкА), 6 А (135,5 дБ мкА), 7 А (137 дБ мкА).

Вимірювання проводились на частотах від 30 Гц до 100 Гц з кроком 10 Гц, від 100 Гц до 1000 Гц з кроком 100 Гц, від 1 кГц до 10 кГц з кроком 1 кГц, а також з метою визначення частоти обмеження були проведені вимірювання у діапазоні до 100 кГц. Струми 1; 10; 100 мА вимірювались як падіння напруги на штатній навантазі 4 Ом за допомогою осцилографа Tektronix TDS 2024B, а напруга з виходу струмознімача – селективним нановольтметром Unipan 237. Струми 1 – 7 А вимірювались за допомогою струмовимірювальних кліщів Fluke i3000s та осцилографа Tektronix TDS 2024B (перший канал), а напруга з виходу струмознімача – осцилографом Tektronix TDS 2024B (другий канал).

Залежність амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) коефіцієнту перетворення $K_П(дБ \cdot мкА / мкВ)$ від частоти згідно з результатами калібрування при струмі 1 А наведено на рис. 111.

При вимірюванні емісії струмів радіозавад вимірюється напруга з виходу струмознімача. Тому не одразу видно, перевищують чи ні ці напруги норми на

струми радіозавад згідно вимог стандарту [334]. Для зручності роботи оператора, відповідні норми на струми I_m, переведено у значення напруги $U_{СЗ}$, за формулою

$$U_{СЗ}(дБ \cdot мкВ) = I_m(дБ \cdot мкА) - К_П(дБ \cdot мкА / мкВ). \quad (9)$$

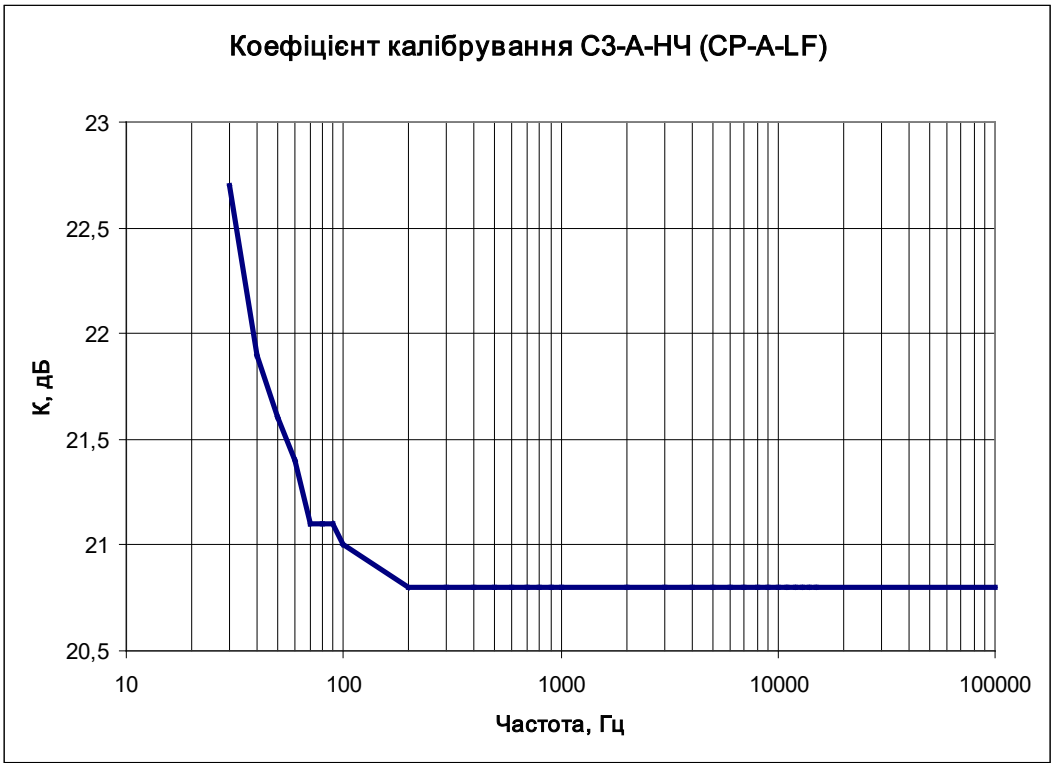


Рисунок 111. Графік АЧХ коефіцієнту перетворення CP(NCE01)

За результатами калібрування, визначено, що АЧХ експериментального зразка струмознімача CP(NCE01) практично лінійна у діапазоні вимірювальних струмів від 1 мА до 5 А, але, при вимірювальних струмах вище 5 А починається насичення феритового кільця і напруга на виході CP(NCE01) спадає. На лінійній частини залежності від сили струму на частотах від 30 до 100 Гц коефіцієнт перетворення $К_П$ спадає з 22,7 до 21,0, а з частоти 200 Гц до частоти 100 кГц є незмінним – дорівнює 20,8 дБ мкА/мкВ. Характер АЧХ легко враховується за використання обчислювальної машини.

Експериментальний зразок струмознімача СР(NCE01) за своїми метрологічними характеристиками повністю відповідає вимогам стандарту [334] за методом NCE01.

13.2 research of the work of new «onyx» modifications

В наш час існує багато приладів неруйнівного контролю якості будівельних матеріалів, зокрема штучних кам'яних матеріалів з дрібними та крупними заповнювачами [335]. Наприклад, широке застосування в будівельній практиці отримав прилад «ОНИКС-2.5», принцип роботи якого заснований на методі пружного відскоку, в той час як існують інші методи неруйнівного контролю якості матеріалів та відповідні прилади. Зокрема, серед механічних методів неруйнівного контролю якості широко застосовується метод місцевих руйнувань, заснований на залежності між міцністю бетону і деякими його іншими властивостями, що отримані в результаті висмикування встановлених в тілі бетону анкерних засобів, відриву приклеєного сталевого диску або сколювання ребра конструкції [336].

Існують різні модифікації приладів «ОНИКС», зокрема «ОНИКС-2.5», «ОНИКС-2.6», «ОНИКС-2М», «ОНИКС-1.ОС.Э», «ОНИКС-1.СР». Їхня робота заснована на методі місцевих руйнувань контролю якості будівельних матеріалів зі штучного каменю, зокрема, методі сколювання ребра конструкції, методі пружного відскоку та методі виривання анкерних пристроїв з тіла бетону. Виробництво даних приладів налагодили підприємства України та сусідніх країн, ці прилади знайшли широке застосування в будівельній практиці завдяки високій якості та помірним цінам. Разом з тим слід зазначити, що найчастіше в польових умовах досліджень будівельних конструкцій застосовується прилад «ОНИКС-2.5» завдяки своїй компактності. Його робота заснована на використанні методу пружного відскоку бойка від поверхні елемента, що дозволяє судити лише про міцність поверхневих шарів матеріалу, в той час як глибинні шари матеріалу можуть мати відмінні властивості від

поверхневих. Цей недолік усунений в методі виривання анкерних пристроїв з тіла бетону.

Завдання нашого дослідження – вивчити будову, принцип роботи, порядок вимірювань та комплектацію приладів, принцип вимірювання яких заснований на вириванні анкерних пристроїв з тіла бетону, а саме приладів серії «ОНІКС-1.ОС».

Вимірювач міцності матеріалів ОНІКС-1.ОС призначений для визначення міцності бетону методом відриву зі сколюванням при технологічному контролі якості монолітного і збірного залізобетону, обстеженні будівель, споруд і конструкцій [337]. Крім цього, прилад може використовуватися для встановлення і корекції градуювальних характеристик і залежностей ударно-імпульсних («Онікс2.5») і ультразвукових («Пульсар-2») вимірників міцності неруйнівного контролю. Прилади випускається в двох виконаннях: ОНІКС-1.ОС.050 з діапазоном вимірювання навантаження від 5,0 до 50,0 кН та ОНІКС-1.ОС.100 з діапазоном вимірювання навантаження від 5,0 до 100,0 кН; робочі умови експлуатації – діапазон температур від мінус 10 ºС до плюс 40 ºС, відносна вологість повітря при плюс 25 ºС і нижче до 90%, атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа.

Прилад складається з гідравлічного пресу з вбудованим електронним блоком та комплекту пристосувань. Принцип роботи приладу полягає у вимірюванні зусилля вириваючи анкера з тіла бетону. Анкер встановлюється в попередньо підготовлений шпур або бетонується при виготовленні конструкції. Потім анкер з'єднується тягою з гідропресом, за допомогою якого здійснюється його вирив з тіла бетону. В процесі навантаження преса зусилля на анкері зростає до екстремального значення, при якому відбувається виривання фрагменту бетону, після чого зусилля падає до нуля. Електронний блок автоматично відстежує процес навантаження і запам'ятовує екстремальні точки руйнування бетону. Перетворення зусилля вириву F в міцність важкого і легкого бетонів R, МПа, здійснюється за формулою:

$$R = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot F \quad (1)$$

де m_1 – коефіцієнт проковзування анкера (в разі, якщо зміщення анкера все ж сталося, наприклад, з-за того, що зім'яло проточки в легких бетонах);

m_2 – коефіцієнт, який залежить від умов твердіння бетону та робочої глибини закладення (захоплення) анкера, мм;

m_3 – коефіцієнт крупності заповнювача;

F – значення сили, при якій стався вирив, кН.

У приладі застосований новий спосіб фіксації анкера в шпурі, що виключає його прослизання при навантаженні гідропреса. Фіксація досягається зчепленням виступів сегментів анкера з кільцевою проточкою в шпурі, що виконана на заданій глибині спеціальним пристроєм. Такий спосіб фіксації забезпечує більш стабільний конус виривання і суттєве підвищення точності визначення міцності. Гідравлічний прес (рис. 112) має: корпус *1*, в якому змонтовані датчик сили, поршневий насос з рукояткою приводу *2* і робочі гідроциліндри *3*, суміщені з опорами *4*, *5*; механізм натягу анкера, що включає тягу *6* і штурвал *7*. Електронний блок *8* розташований на лицьовій стороні гідропреса, має на лицьовій панелі корпусу 9-ти клавішну клавіатуру, графічний дисплей і у верхній торцевій частині корпусу роз'єм *10* для зв'язку з ПК по USB.

Через роз'єм USB також здійснюється автоматичне заряджання батареї живлення від ПК або від блоку живлення. У корпусі електронного блоку знаходиться вбудоване літієве джерело живлення. Опора *4* у вигляді черевика, закріплена на штоку одного з гідроциліндрів, має можливість повороту і забезпечує стійкість гідропреса в поперечному напрямку, а опора *5* дозволяє змінювати довжину штока другого гідроциліндра за рахунок нарізного сполучення і дозволяє регулювати положення по висоті (горизонтальний напрямок). В робочому положенні гідропрес опорами *4* і *5* базується на

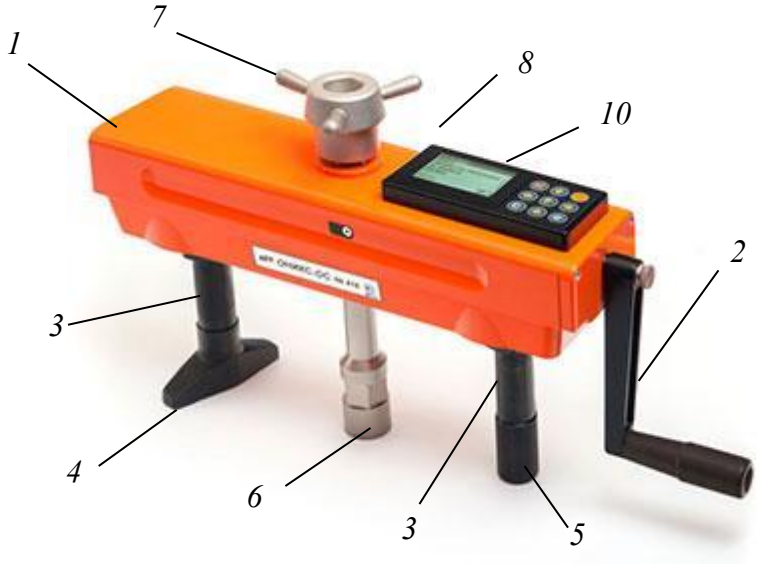


Рисунок 112. Загальний вид приладів виконання ОНІКС-1.ОС.050, ОНІКС-1.ОС.100.

поверхні бетону. За допомогою тяги *6* прилад з'єднаний з зафіксованим в шпурі анкером і підібганий штурвалом *7* механізму натягу анкера.

Прилад поставляється з комплектом пристосувань: анкерний пристрій складається з трьох сегментів і анкерної тяги (анкер) з конічної робочою поверхнею і різьбовим хвостовиком. Фіксація анкерного пристрою в шпурі проводиться розклиненням сегментів конічної частиною тяги. Надійне зчеплення анкера з бетоном здійснюється за рахунок з'єднання виступів на сегментах з проточкою в шпурі, що практично виключає прослизання. Робоча глибина закладення анкера в шпурі 30 або 25 мм регулюється проставочним кільцем товщиною 5 і 10 мм відповідно. Кондуктор рекомендується використовувати при виконанні шпуру на об'єкті, що дозволяє забезпечити перпендикулярність осі шпуру до поверхні бетону. Спеціальне розточувальний пристрій складається з опорної шайби і головки , дозволяє виконати кільцеву проточку в шпурі для надійного зчеплення бетону з анкером.

Передбачені такі режими роботи: ручний, із запущеним процесом вимірювання і фіксації результатів від клавіші; автоматичний, із запуском

вимірювання за заданим пороговим рівнем посилення та з автоматичним визначенням екстремуму; одиничні виміри; серія вимірювання від 2 до 5 з визначенням середньої міцності і максимального відхилення. Прилад оснащений пам'яттю для довготривалого зберігання 360 результатів серій вимірювань і умов їх виконання, які заносяться я в пам'ять поспіль, починаючи з 1 номеру для кожної дати календаря. Перед використанням приладу потрібно виконати установку режимів роботи, для цього користувач повинен вибрати відповідні пункти меню і встановити необхідні параметри: вид матеріалу, типорозмір анкеру, вид твердіння матеріалу, очікуване значення міцності, розмір крупності заповнювача, коефіцієнти перетворення зусилля виривання, діапазон індикації швидкості навантаження, режим або автоматичний режим вимірювань, необхідну розмірність результатів вимірювань.

Отже, використання приладів «ОНІКС-1.ОС.050» та «ОНІКС-1.ОС.100» дозволяє отримати високу точність вимірювань при визначенні міцності бетону неруйнівними методами оцінки якості будівельних конструкцій, зокрема, за допомогою методу виривання анкерних пристосувань з тіла бетону. Деяким недоліком даного приладу є його недостатня компактність порівняно з приладом «ОНИКС-2.5» та певна складність у встановленні анкерних пристосувань, але перевагою є більша точність вимірювання міцності глибинних шарів матеріалу.

SECTION 14.
RADIO ENGINEERING

14.1 Marquee type dual-band dielectric resonator antenna for radar and communication applications

Одной из доминирующих тенденций расширения функционала беспроводных телекоммуникаций является реализация конвергентных решений. С одной стороны, это обусловлено возрастающей конкуренцией систем и стандартов в борьбе за частотный ресурс, с другой стороны – повышением объёмов потребительского трафика на фоне появления новых (или удешевления существующих) сервисов и услуг, в том числе, и на базе облачных вычислений. Как следствие, в качестве приоритетов данного подхода целесообразно указать следующие направления.

Во-первых, заслуживает внимания использование инфраструктуры систем мобильной связи для повышения точности метеорологических прогнозов применительно к отдельно взятым районам населенных пунктов и территориальных образований за счет получения оперативной информации [338]. Интегрируя в алгоритмы обработки сигналов базовых станций решение радиолокационных задач по зондированию атмосферы с доплеровской селекцией отраженных сигналов, возможно составлять пространственно-локализованные метеопрогнозы и оперативно корректировать их содержание [338]. Многопозиционная система метеорадаров на основе базовых станция связи позволит обеспечить оценку пространственной ориентации векторов скорости ветровых потоков, предсказать динамику их изменения во времени, визуализировать ветровую обстановку в 3D формате, идентифицировать и спрогнозировать поведение турбулентностей. На этой основе можно будет повысить точность предсказания осадков с локализацией прогноза до конкретно взятого фрагмента местности площадью в несколько квадратных километров [338]. Указанная информация будет крайне важна для планирования миссий

беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и контроля их выполнения в условиях городской застройки, а также обнаружения турбулентных зон, запрещенных для полетов мини- и микро-БПЛА [338].

Во-вторых, в интересах радиолокации могут использоваться не только импульсные режимы работы, но и традиционные для систем мобильной связи сигналы [339]. Применение пространственного разнесения на базе комбинации технологий Massive MIMO и сигналов на основе OFDM в перспективных системах сотовой связи 5G позволит обеспечить одновременное решение радиолокационной и связных задач, особенно в случае их частотного разнесения [338, 339].

Указанные факторы, на фоне минимизации габаритов радиосредств требуют внедрения компактных комбинированных интегральных антенн, имеющих соответствующие уровни многодиапазонности и широкополосности. Анализ схемотехнических решений, соответствующих указанным требованиям, свидетельствует, что они в основном сводятся к применению электрически малых антенн, в том числе с использованием фрактальных конструкций; формированию многоэлементных решеток на основе диэлектрических резонаторных антенн (Dielectric Resonator Antenna, DRA) и др. [340 - 353]. Однако, наиболее высокий потенциал имеет комбинация указанных подходов.

Одним из примеров подобной интеграции являются синтезированные в работе варианты многодиапазонной DRA. Из-за сложности описания взаимодействия антенн неевклидовой геометрии с радиоволнами для их проектирования и оценки используются методы численного моделирования. В интересах анализа пространственно-частотных характеристик предлагаемых антенных решений целесообразно использовать такие показатели, как возвратные потери (Return Loss, RL), диаграмма направленности (Beam Pattern, BP) и коэффициент стоячей волны (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR). Хотя существует несколько толкований термина «полоса пропускания», в данном случае используется определение полосы по критерию возвратных потерь, для которого модуль S_{11} меньше, чем -10 дБ (хотя более точно величине VSWR ≤ 2

соответствует уровень RL ≤ -9,542 дБ). В свою очередь, для определения степени широкополосности антенны можно использовать такой параметр как относительная полоса пропускания (иногда трактуется как «Fractional Bandwidth») [354]:

$$\delta f = \frac{2|f_1 - f_2|}{f_1 + f_2},$$

где f_1 и f_2 – граничные значения частот спектрального диапазона, в пределах которого величины VSWR или RL не превышают заданный уровень.

В качестве отправной точки при синтезе антенной конструкции рассматривалась полуцилиндрическая DRA, на основе которой была сформирована крестообразная антенна (рис. 113). Диаметр образующего цилиндра равен 9,1 мм, его длина – 12 мм. Диаметр фидера составляет 0,5 мм, а глубина его погружения в резонатор зафиксирована на уровне 2,54 мм. При этом коаксиальный кабель согласован с линией питания 50 Ом, а диэлектрическая проницаемость материала резонатора принята равной $\varepsilon_r = 12$. Результаты оценки пространственно-частотных характеристик такой антенны представлены на рис. 114 - 116.

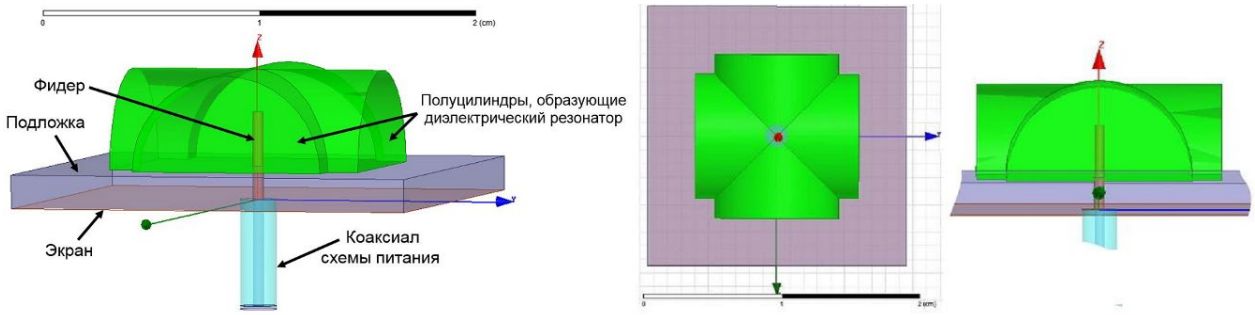


Рисунок 113. Крестообразная DRA.

Предложенная конструкция DRA позволила получить полосу пропускания 2,4 ГГц в диапазоне 11,35-13,75 ГГц ($\delta f = 0{,}191$), а также наименьший уровень RL = -32 дБ на частоте 12,5 ГГц.

Дальнейшим развитием разработанной антенны стала ее модификация на основе фрактального подхода. В качестве инициатора выступила прямая линия, а генератором явилась ломаная Г. Минковского [346, 353] (рис. 117). Глубина

фрактализации ограничивалась первой итерацией. При этом был осуществлен переход к “антифракталу” за счет применения инвертированного генератора фрактала (рис. 118).

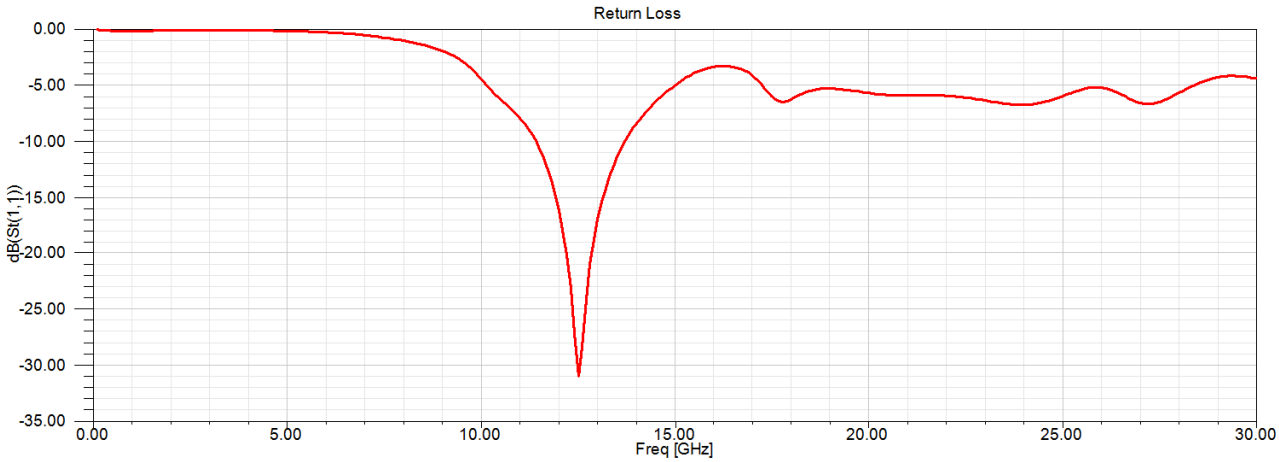


Рисунок 114. RL крестообразной DRA.

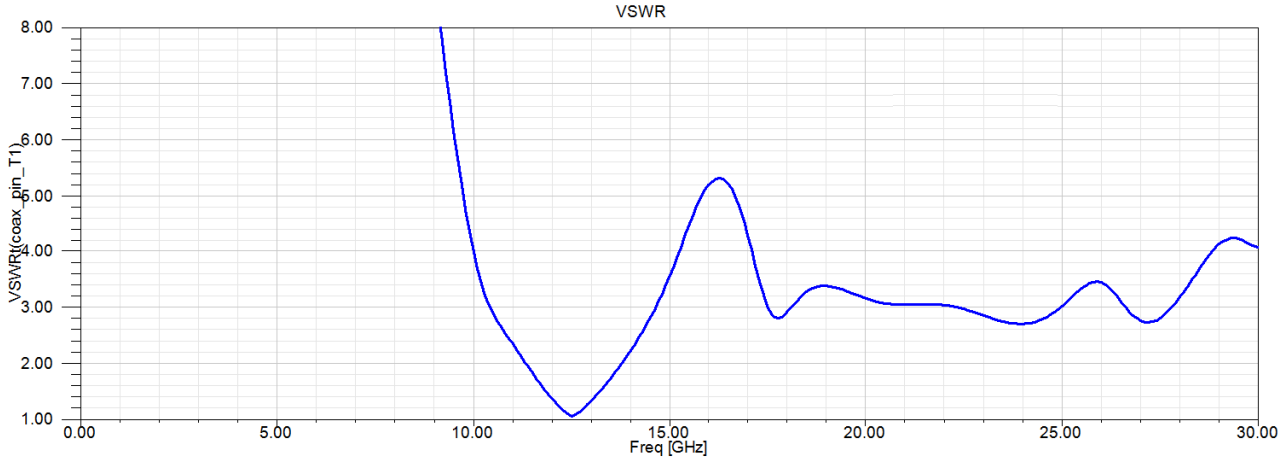


Рисунок 115. VSWR крестообразной DRA.

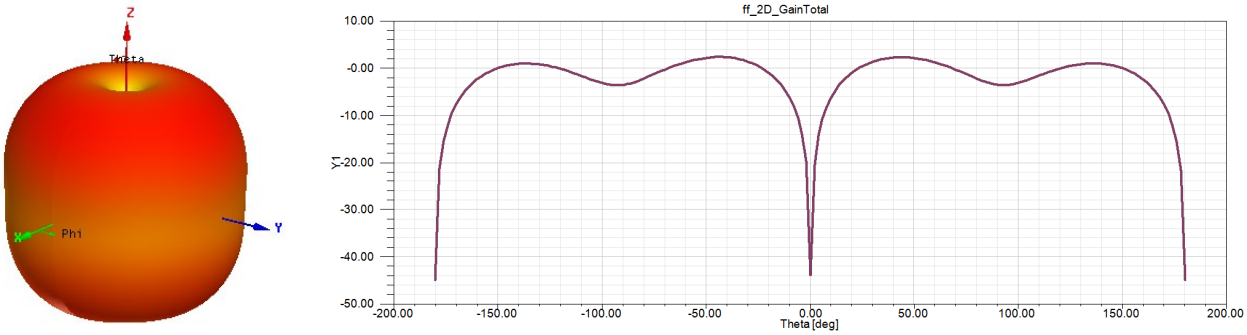


Рисунок 116. ВР крестообразной DRA для рабочей частоты 10 ГГц.

Таким образом, была получена модель антенны, напоминающая по форме «шатер» (рис. 119). В результате, получилась двухэтажная конструкция, каждый из этажей которой настроен на свой диапазон частот. Об этом свидетельствуют оценки RL и VSWR (соответственно, рис. 120 и 121). Полоса пропускания составила 2,9 ГГц (для диапазона 7,65-10,55 ГГц) на центральной частоте 9,1 ГГц, что соответствует $\delta f = 0{,}318$. В целом, с точки зрения обеспечения многодиапазонности и широкополосности удалось повысить эффективность по сравнению с крестообразной полуцилиндрической антенной рис. 113 на ≈ 12,7 %.

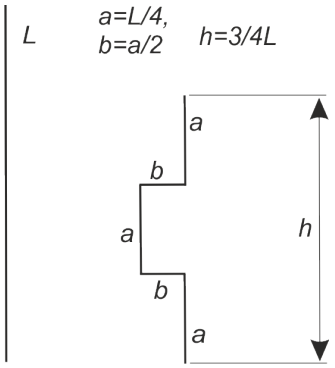


Рисунок 117. Фрактальная трансформация первой итерации на основе ломаной Г. Минковского [346].

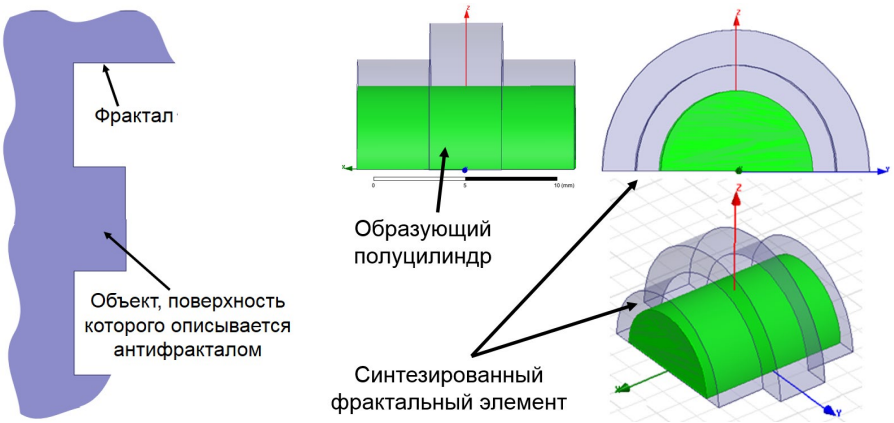


Рисунок 118. Формирование образующего фрактального элемента.

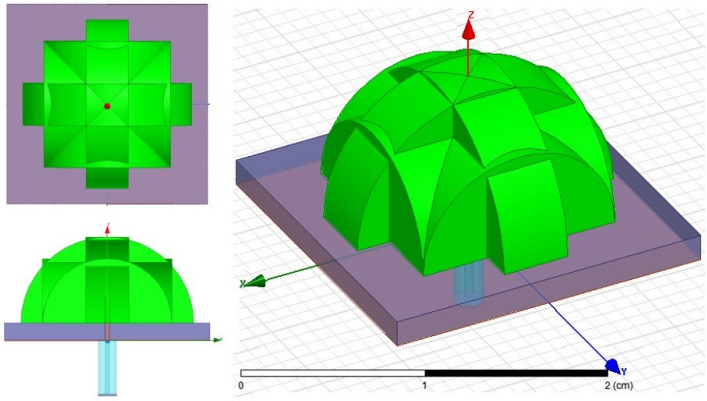


Рисунок 119. DRA типа «шатёр».

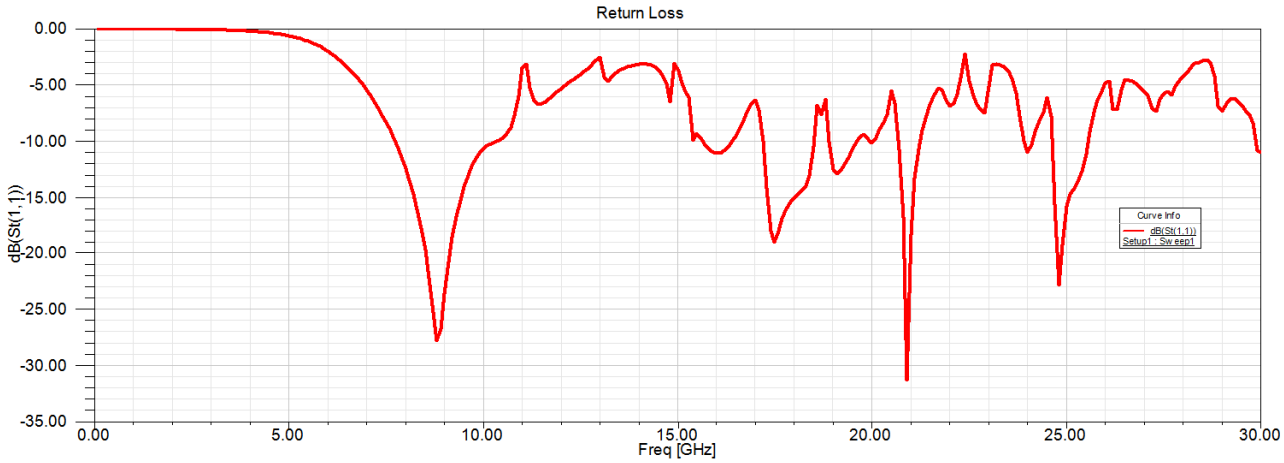


Рисунок 120. RL DRA типа «шатёр» $\varepsilon_r = 12$.

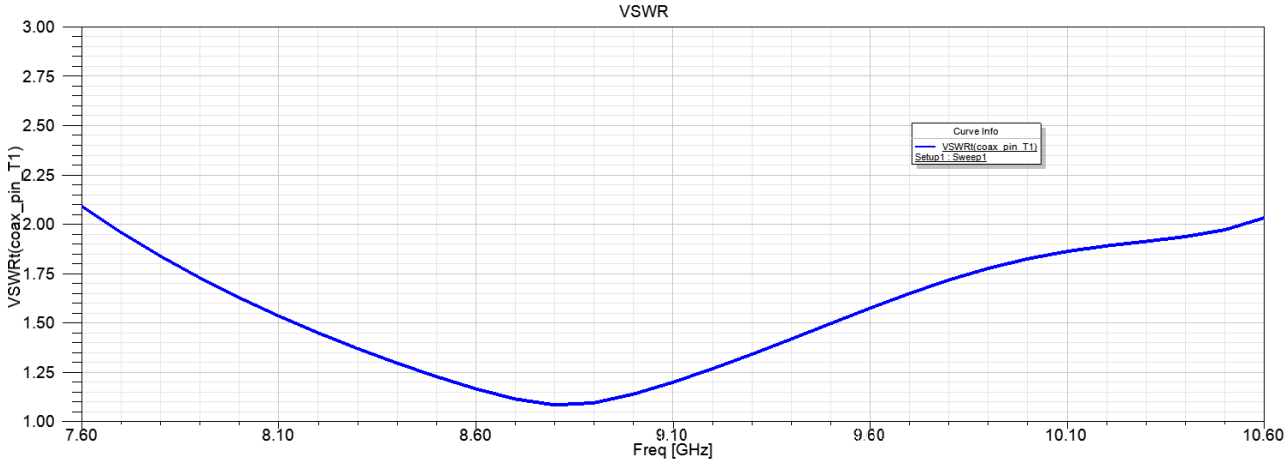


Рисунок 121. Детализированная оценка VSWR DRA типа «шатёр» $\varepsilon_r = 12$.

Как оказалось, при детальном изучении такого частного случая геометрии антенны, для дальнейшей оптимизации конструкции вместо антифрактала первой итерации целесообразно применять набор различных по толщине и диаметру дисков (шайб) – рис. 122.

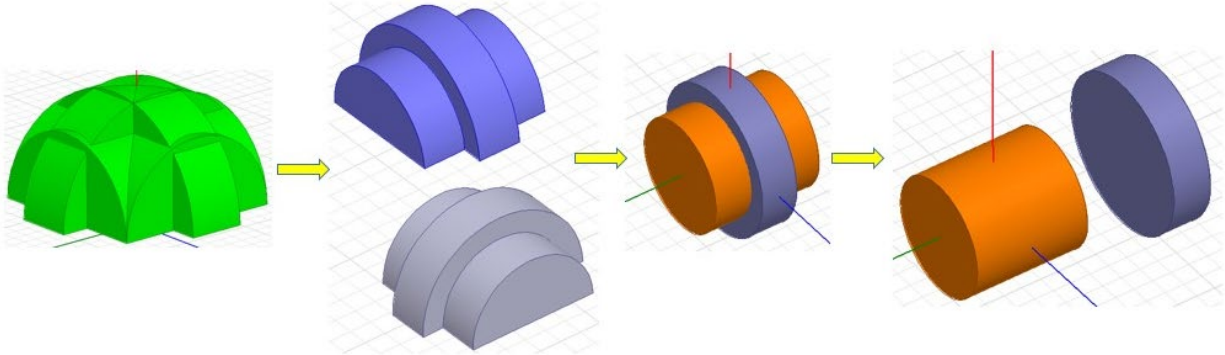


Рисунок 122. Вариант декомпозиции конструкции антенны.

В большинстве случаев, при проектировании DRA возникает вопрос выбора материала для изготовления диэлектрического резонатора. Поэтому, было исследовано влияние величины ε_r на положение и ширину полос пропускания по частоте для антенны на рис. 119.

В результате было определено, что этот показатель является одним из ключевых при оптимизации характеристик антенны в частотной области. Так, снижение ε_r до величины 4 - 5 позволяет получить два выраженных диапазона рабочих частот в районе 9 - 15 ГГц и 24 - 32 ГГц. Например, при $\varepsilon_r = 4{,}8$ получены оценки характеристик DRA, которые представлены на рис. 123 и 124. В итоге, не изменяя конструкции антенны, за счет вариации величины ε_r можно перестраивать антенну по частоте (рис. 125). Систематизация оценок полосы пропускания для различных значений диэлектрической проницаемости позволяет выделить значения, представленные в табл. 36.

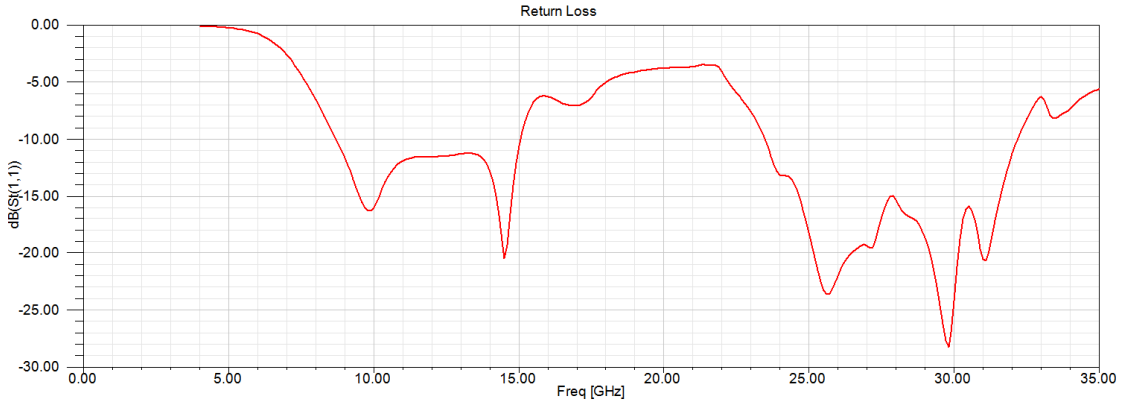


Рисунок 123. RL DRA типа «шатёр» при ε_r = 4,8.

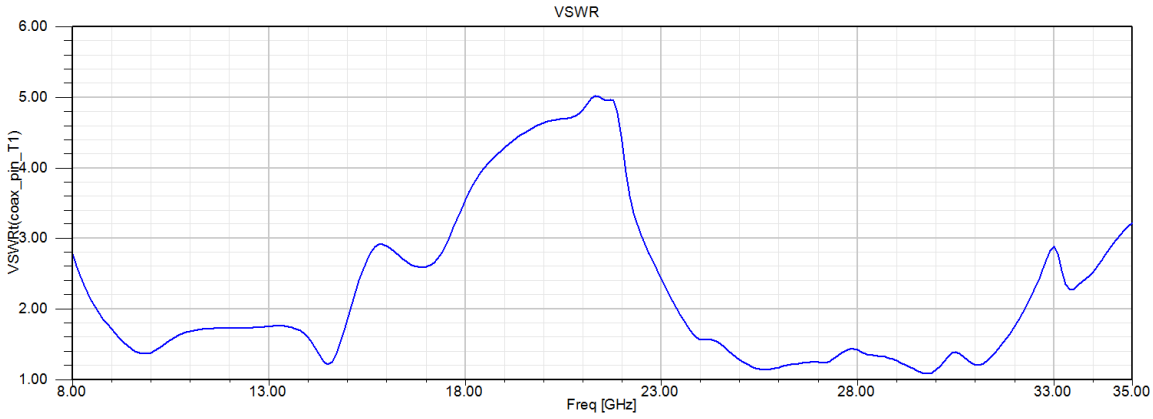


Рисунок 124. VSWR DRA типа «шатёр» при ε_r = 4,8.

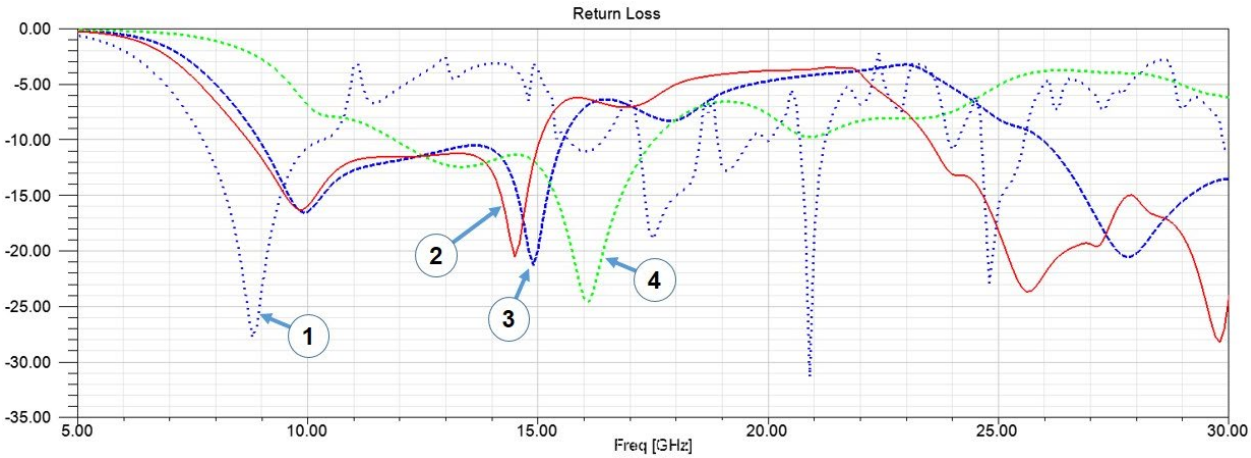


Рисунок 125. Влияние величины ε_r на зависимость RL для разработанной антенны (рис. 119): 1) ε_r = 12; 2) ε_r = 4,8; 3) ε_r = 4; 4) ε_r = 2,23.

Таблица 36.

Влияние величины ε_r на положение и ширину полос пропускания по частоте

№ п/п	ε_r	Первая полоса			Вторая полоса		
		Диапазон, ГГц	Ширина, ГГц	δf	Диапазон, ГГц	Ширина, ГГц	δf
1	2,23	11,66-17,64	6	0,41	31,96-44,17	12,21	0,32
2	4	8,83-15,6	6,7	0,55	25,73-34,74	9	0,3
3	4,1	8,81-15,52	6,71	0,55	25,36-34,23	8,87	0,3
4	4,8	8,6-15,1	6,5	0,55	25,41-32,26	8,85	0,32
5	5	8,59-15	6,41	0,54	23-31,8	8,8	0,32

Такие свойства синтезированной антенны позволяют использовать ее в интегрированных радарно-коммуникационных системах, например, в составе перспективных базовых станций сотовой связи 5G. При этом нижний диапазон частот (9-15 ГГц) предлагается отвести под решение радиолокационных задач, в которых он традиционно используется, а диапазон 24-30 ГГц – для обеспечения сервисов сотовой связи по стандарту 5G.

При оптимизации параметров частотных диапазонов с помощью изменения значений величины ε_r необходимо учитывать, что изменение ее в больших пределах для синтезированной DRA будет сопровождаться скачкообразным переходом на другие типы волн. Это приведет к соответствующему изменению количества рабочих диапазонов частот, их положения в спектральной области и ширины. Характерным примером тому является переход от $\varepsilon_r = 4{,}8$ к $\varepsilon_r = 12$ на рис. 125.

В заключение следует отметить, что поскольку большинство ограничений систем связи 5G уже изучено, полученная в результате их эксплуатации информация может рассматриваться как основа для дальнейшей эволюции методов обработки сигналов и совершенствования антенных конструкций в интересах перспективных систем связи 6-го поколения. В дополнение к

известным прогнозам на этот счет целесообразно добавить, что очень важным направлением является интеграция систем связи и радиолокации на основе фотоники на базовых станциях 5G (6G) для пространственной селекции беспилотных летательных аппаратов и безэкипажных наземных (надводных) платформ. Синтезированная антенна может рассматриваться как один из элементов, обеспечивающих такую интеграцию. Представленные оценки минимальной относительной полосы пропускания $\delta f = 0{,}32$ свидетельствуют о перспективности предложенного подхода для реализации антенных систем с достаточным уровнем широкополосности.

SECTION 15.
REPAIR AND RECONSTRUCTION

15.1 Reconstruction as a method for saving art nouveau objects in the structure of the largest city

The problems of protection, study and methods of reconstruction of monuments of historical and cultural heritage of Art Nouveau objects on the example of the city of Kharkov have considered in the article. The issue of approaches to the reconstruction of architectural monuments, the role of their use in preserving the cultural heritage as a whole were analyzed here.

The issues of preserving moral and material values are the most important problem of modern society. Architecture reflects the way of life, especially the processes of technological, political, economic and cultural development of the country for many centuries. Ginzburg M. in the book “Style and era” writes, “... there is a causal relationship between real life factors and the system of human artistic thinking ...” [355, p.17]. Architecture is able to materially embody ideas about the world order, to create conditions for a way of life in accordance with the ideals of time. During periods of crises and changes in ideals, architectural objects lose their cultural and symbolic strength and lose their functional adequacy.

There are a number of prerequisites for the preservation of architectural objects. Art Nouveau objects are no exception. Prerequisites can be divided into engineering and historical and cultural. Engineering and technical prerequisites are: - satisfactory condition of the supporting structures; - spatial characteristics of the former objects of Art Nouveau, favorable for placement of a new function, including for housing; - reduced level of costs during the reconstruction of the building; - expansion of the real estate market due to new types of objects. Among the historical and cultural prerequisites, the main one is the status of a cultural monument, the danger of losing buildings that preserve the memory of the place, their style.

The protection, study and reconstruction of the cultural and historical heritage are necessary for the development of the modern world, gaining a sense of historical conformity by new generations and preserving the spirituality of the nation. A significant part of the cultural heritage monuments is being lost, is threatened with destruction, or sharply depreciates as a result of human activity. The practice of protection and researches of architectural heritage is not being improved, this is a problem for the city of Kharkov and for Ukraine as a whole.

The existence and future in the development of Kharkov are unthinkable outside of its architectural basis - the architectural environment and heritage which have developed over the centuries. Art Nouveau objects form the unique architectural environment of the city of Kharkov, including. Most of the Art Nouveau buildings have the status of "architectural monuments", they were created by recognized architects A. I. Rzhepishevsky, Yu.S. Tsaune, I.I. Zagoskin, A.N. Beketov, G.M. Dikansky, A. M. Ginsburg and others [356]. Adequate use of these monuments is one of the key tasks of maintaining and reconstructing the historical center, it is the most important component of the cultural development of the city. Legal regulation in the field of protection of cultural heritage monuments is carried out on the basis of the Law of Ukraine "On the Protection of Cultural Heritage" [357]. One of the problems of the protection, research and scientific attribution of architectural monuments, the guarantee of preserving the monument is its registration, in accordance with this Law, but this does not protect the building from destruction under the influence of natural and socio-political factors. The building of the former hotel on 6 Teatralny Descent, (1910, architect L.K. Terven) is close to complete destruction, only the external walls and the main facade are present, the characteristic Art Nouveau decor has been preserved (Fig. 126). The physical condition of the building of the former apartment building on the street 8 Marshal Bazhanova, (1913, architect Roitenberg M.E.) is unsatisfactory, there are no roofs and windows, the building envelopes in the building are destroyed. The house has preserved a beautiful facade with large windows, many figures and decorative elements of the Art Nouveau style (Fig. 127).

Figure 126. 6 Theater Lane

Figure 127. 8 M. Bazhanova St.

Many factors contribute to the deterioration of buildings. This is pollution of the territory by waste, destruction of building structures. cracks appear in the walls of buildings due to violations of surface water drainage. Air pool pollution destroys the facade finish. Natural and anthropogenic factors harm structures, which is why structures are affected by fungi and mold.

The reconstruction of these objects could significantly complement the historical architectural environment of the city. Competent adaptation of these facilities to a hotel, office or residential complex could improve the functional diversity of the facilities. The choice of reconstruction methods will depend on the new architectural solution, but the main task is not to lose the historical appearance of the Art Nouveau monument. An old abandoned building on 8 Marshal Bazhanov Street has been in disrepair for several decades. Reconstruction of this building started in 2019.

All repair and reconstruction works that take place at cultural heritage sites should have a scientific justification and be carried out with the involvement of specialists in this field [358]. In the practice of reconstruction of Kharkov, there are examples where scientifically-based, competent restoration and reconstruction of architectural monuments, and an absolutely mocking superstructure and alteration of significant objects are used. Designing in the historical centers of the largest cities is the most difficult area of modern architectural practice, which requires careful accounting and analysis when choosing a modern solution for a reconstructed object. It is determined by a number of factors: - urban planning and compositional characteristics of the object; - urban planning, historical, architectural and cultural

values; - the value of the object as a whole or its parts (facades, supporting structures, individual elements); - initial function; - space-planning characteristics; - materials.

The lack of a science-based approach to reconstruction of objects leads to a distortion of the appearance of the building and the loss of its value from an architectural point of view. Unfortunately, the house on 17 Darwin Street (formerly Sadovo-Kulikovskaya St.) in Kharkov (architect A.N. Beketov), which was originally a 2-storey mansion in the Art Nouveau style (Fig. 128), suffered such a fate [359]. Today the building is a five-story apartment building (Fig. 129).

Figure 128. 17 Darwin St.
(former 17 Sadovo-Kulikovskaya St.)

Figure 129. 17 Darwin St.

The first floor is partially occupied by public spaces. Old-style wooden binders in 2 windows of the second floor are preserved, traces of the decorative finish of the former mansion are exposed due to the destruction of the plaster layer on the main facade. All this indicates that the building on the 17 Darwin's Street originally had a different architectural appearance. 2 floors were built over the building, and the decorative finish of the main facade was destroyed in the 1930s. Based on the stylistic analysis, the building was identified (in the initial period) as object of the Art Nouveau style. Numerous alterations were made in the building, as a result of which the original architectural appearance and planning structure were changed and the building ceased to be considered as a valuable architectural object in the Art Nouveau style.

Preparations for the reconstruction of any building are carried out according to the traditional method [360, chapter 3] and includes the following steps: visual familiarization with the object and performing photographic fixation; historical archival and bibliographic surveys; identification of stylistic features; building measurements; the study of the technical condition of the object and the identification of changes and losses in the planning structure, architectural appearance of the building; drawing up a program of pits and probes to confirm the hypothesis of historical layers [361].

The recommended technique, from the point of view of modern urban planning and architectural composition, is a harmonious combination of a modern building against a historical background and vice versa. This reconstruction technique can be described as the historical “palimpsest” [from Greek "palio" - back, and "psao" - rub, erase] - parchment from which the writing was previously erased, with the aim of reusing the parchment for writing. Figuratively speaking, this technique involves a “new imprint” of the appearance of a historical object in the structure of the modern object. At the same time, it is most important that the appearance of the architectural monument be preserved and restored and combined with a modern structure, taking into account large-scale ratios, the nature of articulations, and materials. Style and architectural differences should not be hidden in such a decision. An example of such a method of reconstruction in the city of Kharkov is the modernist building on 13 Kostomarovskaya Street.

The object lost its main internal supporting structures, but retained the main facade with the characteristic elements of Art Nouveau styleuntil the time of reconstruction (Fig. 130). The reconstruction project included the turning on of the object in the structure of a modern office building. At the same time, the building front of the historic street onto, which the restored main facade faces, is preserved. The new office structure is located inside the courtyard. The reconstructed object seems to be “written” again following the traces of the previous construction (Fig. 131).

Figure 130. 13 Kostomarovskaya St.

Figure 131. Reconstruction project for 13 Kostomarovskaya St.

The priority areas in the field of cultural heritagee protection are: ensuring the principle of continuity of historical development, expanding business relations between Ukrainian and foreign experts in the field of restoration, reconstruction and preservation of cultural heritage, increasing the effectiveness of state and public control, disseminating a historically verified assessment of cultural monuments by the society. Systematic monitoring of the state of cultural heritage objects, the introduction of scientifically-based modern construction within the protected areas, the repair, restoration, emergency operations, as well as reconstruction work on the monuments should be carried out taking into account their modern functional adaptation.

SECTION 16.
SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF MODERN ENGINEERING

16.1 Process of clusters creating on the digital map

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ГРУПУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОННОЇ КАРТИ В ГЕОГРАФІЧНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

В складі будь-якого шару електронної карти, водночас може бути присутня велика кількість об'єктів (наприклад, батальйон та його підрозділи, окремі одиниці бронетанкової та автомобільної техніки, тощо). Кожен з таких об'єктів має особливий набір атрибутів (наприклад, чисельність окремого взводу, боєзапас танка, кількість пального автомобіля, тощо). На рис. 132 наведено приклад таблиці атрибутів певного шару, який містить три об'єкти.

НАЗВА ПІДРОЗДІЛУ	ПАЛЬНЕ (Л.)	КОМПЛЕКТ (ОДИНИЦЬ)
1-й підрозділ	700	20 000
2-й підрозділ	900	25 000
3-й підрозділ	1200	15 000

Рис. 132. Фрагмент таблиці атрибутів певного шару електронної карти.

Кожний рядок таблиці описує один підрозділ. Опис складається із значень трьох атрибутів – "НАЗВА ПІДРОЗДІЛУ", "ПАЛЬНЕ (Л.)" та "КОМПЛЕКТ". Якщо розглядати значення тільки одного, окремого атрибуту, то для аналізу об'єктів на карті достатньо традиційних методів роботи із базами даних – створення запитів, вибірка, виділення на карті об'єктів, які відповідають створеному запиту. Це, так звана, технологія SQL, яка реалізована (рис. 133) в географічній інформаційній системі (ГІС) "Інструмент" [362].

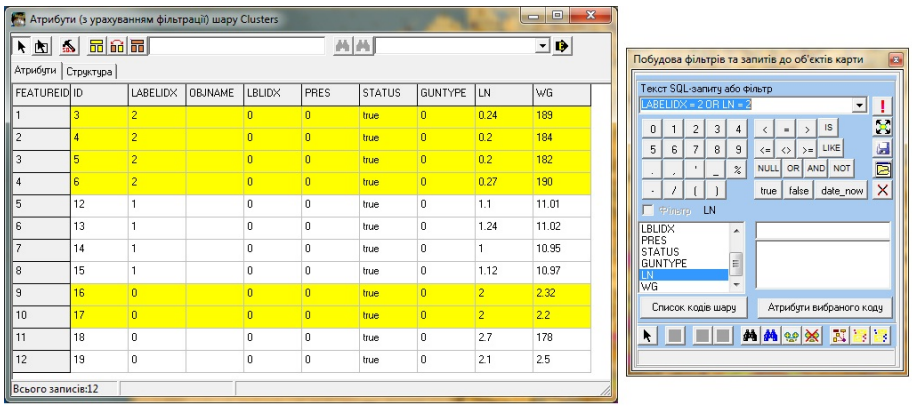


Рис. 133. Вибір об’єктів в таблиці атрибутів шару за допомогою SQL-запиту.

Але, у тому випадку, коли потрібно здійснити аналіз за значеннями, водночас кількох атрибутів, рішення ускладняється. Звичайно, можна створити складний, багаторядковий запит, але такий підхід не є зручним. Для комплексного аналізу зв’язків, що існують між об’єктами карти, створення або виявлення нових зв’язків, між такими об’єктами треба мати механізм, що групує та поєднує об’єкти водночас по значенням багатьох атрибутів. Наприклад, запит на виділення на карті усіх одиниць бронетехніки, що знаходяться у зоні відповідальності деякого батальйону та мають запас пального у межах необхідності для виконання бойового завдання та відповідну кількість боєзапасу.

Для цього пропонується групувати такі об’єкти за допомогою механізмів кластерного аналізу. Таким чином, вводячи поняття близькості об’єктів до певної групи, ми формуємо на карті таки групи об’єктів, або подій зі схожими значеннями атрибутів. Таки групи надалі називатиме “кластерами”.

Автоматичне виділення кластерів “близьких” об’єктів по заданому набору атрибутів (ознак) взагалі є однією з центральних задач дослідження даних. Відмітимо, що роль ознак можуть відігравати звичайні координати об’єктів. Тоді групування буде здійснене за принципом близькості об’єктів один до одного на площині карти. Але, у більш складному випадку, групування може виконуватися одночасно за ознаками різних типів. Наприклад, колір об’єктів, їх тип або назва, кількість боєзапасу та, знов, координати. Існує багато алгоритмів

формування кластерів у багатовимірному просторі ознак. Для ГІС “Інструмент” може бути обрано метод, так званих, k-середніх (k-means clustering) або метод кластеризації за допомогою шаблонів [363, 364].

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ЗА МЕТОДОМ K-СЕРЕДНІХ. ТЕОРІЯ.

Процес розпочинається с визначення та створення k порожніх кластерів на які буде поділена уся множина об’єктів, що підлягають групуванню. Також, на цьому кроці зі всієї сукупності довільно обираються k об’єктів. Кожен з них призначається одному з цих порожніх кластерів. По завершенні першого етапу, у наявності мається k кластерів, кожен з котрих містить тільки по одному з об’єктів. Решта об’єктів ще не розподілені між кластерами. В свою чергу, кожен об’єкт, що міститься у відповідному кластері, становиться центром такого кластера. Розраховуються координати такого центру. У випадку, показаному на рис. 134, роль координат центрів відіграють звичайні декартові координати (*X, Y*) точкових об’єктів на площині карти.

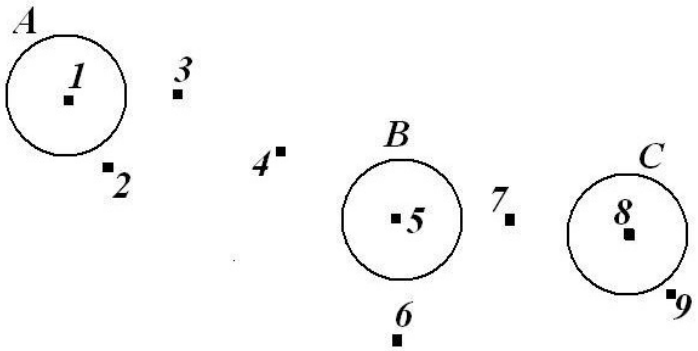


Рис. 134. Об’єкти за номерами 1, 5, 8 стають центрами кластерів A, B та C.

На другому етапі, об’єкти, які залишилися не розподіленими між кластерами додаються у відповідний кластер. Критерієм такого додавання є близькість відповідного об’єкту до центру певного кластеру, розрахованому на першому етапі (рис. 135).

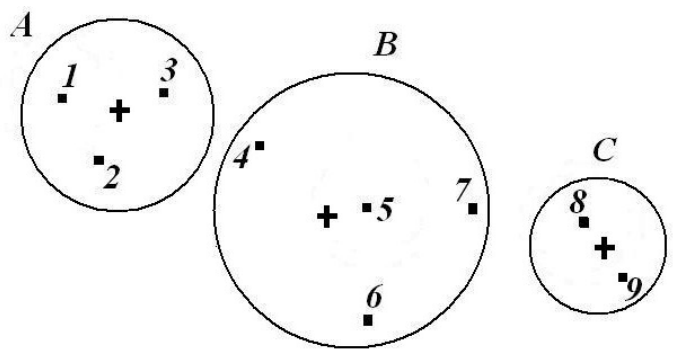


Рис. 135. Об’єкти 3, 2 близькі до центру кластера А, тому вони призначаються йому. Об’єкти 4, 6, 7 – призначаються кластеру В.
Об’єкт 9 – призначається кластеру С.

По завершенню другого етапу здійснюється перерахунок центрів кластерів, з урахуванням координат доданих об’єктів. На рис 4. перераховані центри кластерів відображені позначкою у вигляді перехрестя.

На третьому етапі, всі об’єкти видаляються зі всіх кластерів. Кластері залишаються порожніми, але в них зберігається інформація про координати центрів, розрахованих на другому етапі. Розпочинається новий розподіл об’єктів між кластерами. Кожен об’єкт призначається тому кластеру, до центру якого він є найближчим. І після такого перерозподілу знов здійснюється розрахунок центрів кластерів.

Третій етап повторюється у циклі до того моменту, коли не будуть створені, майже, не змінні набори об’єктів у межах всіх кластерів, тобто зупиниться перехід об’єктів з одного кластеру в інший. Іноді виникають певні “блукаючі” об’єкти, які здійснюють перехід з одного кластеру в інший та назад при будь-якої кількості циклів третього етапу. Щоб запобігти такій ситуації, примусово обмежують кількість переходів “блукаючих” об’єктів між кластерами, вводячи додатковий параметр у алгоритм кластеризації. Зазвичай обмежують кількість таких переходів значенням 15.

Кластеризація за методом k-середніх добре відома і використовується для групування об’єктів при складанні різноманітних моделей аналізу даних. Але, в цьому методі існують декілька суттєвих недоліків. По-перше, якщо

оброблюється великий обсяг даних і кластеризація здійснюється за великою кількістю атрибутів, час виконання алгоритму може зростати за рахунок багатьох циклів третього етапу. По друге, результати кластеризації за багатьма атрибутами не є достатньо наочними. Іноді виникає питання, чому групування було здійснене саме так а не інакше і присутність деяких об'єктів в групі досить сумнівна. Це може спонукати до виконання пост-обробки результатів кластеризації і редагування складу отриманих груп у ручному режимі. Це, в свою чергу може потрібувати наявності спеціальних інструментів для відображення центрів кластерів, що створено та перегрупування об'єктів. Дореч, в ГІС "Інструмент" реалізовані таки програмні засоби. Щоб уникнути наведених недоліків можна використовувати інший метод кластеризації – за допомогою шаблонів.

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШАБЛОНІВ. ТЕОРІЯ.

Припустимо, що стан бронетехніки у підрозділі характеризується кількома категоріями:

– критичний стан – певна одиниця бронетехніки потрібує великого ремонту, поповнення боєзапасу та доукомплектування екіпажу;

– загрозливий стан - певна одиниця бронетехніки не потрібує великого ремонту, але, не вистачає боєзапасу або пального;

– стан майже повної готовності, коли одиниця бронетехніки потрібує дозаправки пальним або поповнення боєзапасу;

– повна бойова готовність, тобто, стан функціонування у якому бронетехніка може бути використана без обмежень.

Для опису кожного такого стану експерт вибирає, або штучно створює шаблонний стан, якій, на його думку, за змістом атрибутів найбільше відповідає поточної категорії. За допомогою атрибутів вибраного об'єкту створюється шаблон. До речи, для більш повного опису стану експертом може бути створено водночас декілька шаблонів із різними множинами атрибутів.

Тоді для аналізу стану бронетехніки у вибраному підрозділі необхідно за допомогою інструментів кластеризації підрахувати кількість одиниць техніки що віднесені до певного шаблону. Наприклад, шаблон для опису критичного стану одиниць бронетехніки може містити пари атрибутів та їх значень, які наведено у табл. 37.

Таблиця 37.

Шаблон для опису критичного стану бронетехніки № 1

НАЗВА АТРИБУТУ	ТИП АТРИБУТУ	ЗНАЧЕННЯ АТРИБУТУ
Потрібує великого ремонту	Бінарний	Так
Потрібує доукомплектування екіпажу	Бінарний	Так
Боєзапас (одиниць). Не більш ніж	Ціле число	1000
Запас пального (літри). Не більш ніж	Ціле число	50

Для опису категорії критичного стану може бути створена будь-яка кількість шаблонів. Наприклад, у табл. 38 наведено ще один шаблон, який на думку експерта, відповідає критичному стану одиниці броньованої техніки.

Таблиця 38.

Шаблон для опису критичного стану бронетехніки № 2

НАЗВА АТРИБУТУ	ТИП АТРИБУТУ	ЗНАЧЕННЯ АТРИБУТУ
Потрібує великого ремонту	Бінарний	Так
Потрібує доукомплектування екіпажу	Бінарний	Ні
Боєзапас (одиниць). Не більш ніж	Ціле число	0
Запас пального (літри). Не більш ніж	Ціле число	15

Для опису стану повної бойової готовності експерт створює шаблон, наведений у табл. 39.

Таблиця 39.

Шаблон для опису стану повної бойової готовності бронетехніки

НАЗВА АТРИБУТУ	ТИП АТРИБУТУ	ЗНАЧЕННЯ АТРИБУТУ
Потрібує великого ремонту	Бінарний	Ні
Потрібує доукомплектування екіпажу	Бінарний	Ні
Боєзапас (одиниць). Не більш ніж	Ціле число	2000
Запас пального (літри). Не більш ніж	Ціле число	80

Після цього атрибути кожної одиниці броньованої техніки, що міститься у базі даних електронної карти послідовно порівнюється із кожним шаблоном що створено. Порівняння здійснюється по вже знайомому нам критерію мінімальної відстані між відповідними атрибутами події та шаблону. Оскільки для кожного шаблону вже визначена певна категорія стану, то по результатам усього одного порівняння, машина буде відразу віднесена до необхідної категорії стану готовності до виконання бойового завдання. Тобто, не потрібно у багатьох ітераціях виконувати перерахунок координат центру кожного кластеру – для кожного об’єкту здійснюється лише один цикл.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВІДСТАНЕЙ У БАГАТОВИМІРНОМУ ПРОСТОРІ ОЗНАК ПІД ЧАС КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Для наочності розглянемо випадок кластеризації об’єктів виключно по їх взаємному розташуванню. С початку виконується трансформування географічних координат (широта/довгота) об’єктів на поверхні земної кулі в проекцію прямокутної системи координат аркуша карти. Тоді, критерій близькості двох об’єктів M і N може бути описаний за допомогою пари координат (x_m, y_m) и (x_n, y_n) та визначений за допомогою *Евклідової відстані*:

$$LE_{m,n} = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2}. \quad (1)$$

Іноді, замість традиційної Евклідової метрики, більш доцільно використовувати, так звану, відстань “міський квартал”:

$$LC_{m,n} = |x_m - x_n| + |y_m - y_n|. \quad (2)$$

Такий тип відстані можливо застосовувати, наприклад, під час роботи із растрами та растровими мапами. При створенні моделей, які ґрунтуються на теорії клітинних автоматів, рух об’єктів на карті іноді обмежується тільки вертикальним та горизонтальним напрямами (рис. 136).

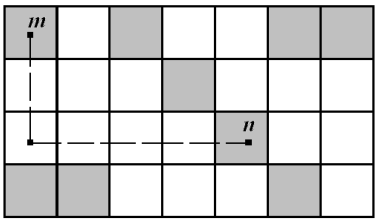


Рис. 136. Ілюстрація до розрахунку відстаней за типом “міський квартал”.

Прикладом використання метрики за типом “міський квартал”, може стати імітаційна модель руху натовпу на електронній карті міста.

Більш практичним є питання порівняння близькості об’єктів не тільки за їх декартовими координатами але за довільними значеннями атрибутів різних типів. Групування в ГІС “Інструмент” можливе за атрибутами трьох типів:

– числові (Integer або Real);

– бінарні (1/0 або True/False);

– впорядковані (ordinal).

Для формування міри “схожості” двох об’єктів i та j за довільно обраним k атрибутам чисельного типу x_{ik}, x_{jk}, модуль ГІС “Інструмент” використовує Евклідову відстань:

$$LE_{i,j} = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \cdots + (x_{ik} - x_{jk})^2}. \quad (3)$$

Існує можливість урахування ступеню важливості кожного атрибуту за допомогою вагових коефіцієнтів $w_{1..k}$:

$$LE_{i,j} = \sqrt{w_1(x_{i1} - x_{j1})^2 + w_2(x_{i2} - x_{j2})^2 + \cdots + w_k(x_{ik} - x_{jk})^2}. \quad (4)$$

Також, можливо враховувати однорідність одиниць виміру для кожної пари атрибутів, що порівнюються. Тобто, має сенс привести значення атрибутів у формулах (4) та (5) до єдиного діапазону. В модулі ГІС "Інструмент" це здійснюється за допомогою min-max нормалізації. Для цього, за допомогою мінімального (new_min_A) та максимального (new_max_A) значень визначають новий діапазон, у якому змінюється атрибут *A* після перетворення. Тоді нормалізація відобразіть значення x_k атрибуту *A* у нове значення x'_k у вигляді:

$$x'_k = \frac{x_k - min_A}{max_A - min_A}(new_max_A - new_min_A) + new_min_A. \quad (5)$$

Якщо $new_min_A = 0$, а $new_max_A = 1$ то формула (5) спрощується:

$$x'_k = \frac{x_k - min_A}{max_A - min_A}. \quad (6)$$

Міра схожості для значень атрибутів бінарного типу оцінюється у модулі за допомогою Жакардової відстані (Jaccard distance):

$$LJ_{i,j} = \frac{C_{10} + C_{01}}{C_{11} + C_{10} + C_{01}}, \quad (7)$$

де C_{11} – кількість всіх пар атрибутів, значення яких дорівнюється 1 для першого об'єкту та, водночас, дорівнюється 1 для другого об'єкту;

C_{10} – кількість всіх пар атрибутів, значення яких дорівнюється 1 для першого об'єкту та, водночас, дорівнюється 0 для другого об'єкту;

C_{01} – кількість всіх пар атрибутів, значення яких дорівнюється 0 для першого об'єкту та, водночас, дорівнюється 1 для другого об'єкту;

C_{00} – кількість всіх пар атрибутів, значення яких дорівнюється 0 для першого об'єкту та, водночас, дорівнюється 0 для другого об'єкту.

Ще один тип атрибутів, для якого реалізований критерій близькості, це впорядковані (ordinal) атрибути. Наприклад, існує опис рівня соціально-економичного стану у вигляді масиву вербальних параметрів: "не визначений", "нормальний", "напружений", "загрозливий" та "критичний". Впорядкуємо ці параметри, призначаючи кожному з них послідовний номер (ранг). Ранг зростає по мірі зростання ступеня загрози:

– не визначений (1);
– нормальний (2);
– напружений (3);
– загрозливий (4);
– критичний (5).

Ранг для i-го атрибута об'єкту змінюється у діапазоні від 1 до M_{ik} , де, M_{ik} – кількість вербальних параметрів, що описують цій атрибут а k – номер атрибуту. Для різних атрибутів об'єкту кількість параметрів M_{ik}, може відрізнятися. Тому, перш ніж здійснювати порівняння об'єктів, доцільно провести min-max нормалізацію рангів. Для цього, у відповідності з формулою (6), відобразимо ранги у нові значення Z_{ik} на інтервалі 0..1.

$$Z_{ik} = \frac{r_{ik}-1}{M_{ik}-1}. \quad (8)$$

Тепер можна використовувати формули (3) або (4) для оцінювання міри близькості об'єктів. Відмітимо, однак, що у реальності кластеризація впорядкованих об'єктів виконується не за їх вербальним описом (червоний, блакитний, зелений, тощо) а за атрибутом, у якому містяться значення рангів цих об'єктів (1, 2, 3 та інші). Тому, в ГІС "Інструмент" замість впорядкованого

типу вказують числовий тип атрибуту і здійснюють кластеризацію за значеннями рангів у атрибутивній таблиці шару.

ПРАКТИКА КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЗА МЕТОДОМ K-СЕРЕДНІХ В ГЕОГРАФІЧНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ "ІНСТРУМЕНТ"

Для демонстрації можливостей створення кластерів в ГІС "Інструмент" потрібно завантажити будь-яку карту, що містить декілька шарів. Для цього, в головному меню програми вибираємо пункт "Проект – Список карт" і завантажуємо карту "Кластери_Харків" (рис. 137).

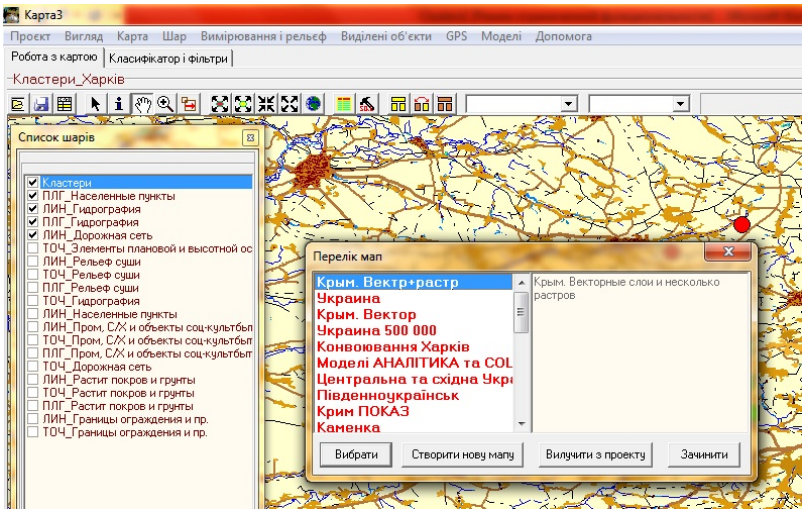


Рис. 137. Карта, що завантажуємо для демонстрації створення кластерів.

Виділіть у списку тій шар, об'єкти якого мають бути згруповані у кластери. У даному випадку (рис. 6), виділяємо шар "Кластери". Після цього, з головного меню програми "Інструмент" вибираємо пункт "Моделі – Розбиття на групи (кластеризація) об'єктів карти". Буде відкрито відповідну панель інструментів, та, якщо раніш не було створено опису атрибутів кластеризації, то відображено діалогове вікно у якому пропонується створити такій опис (рис. 138).

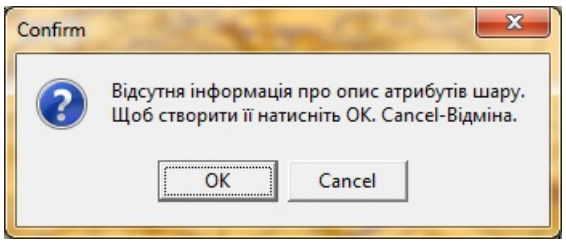


Рис. 138. Пропонування створити опис атрибутів для шару, що підлягає кластеризації у діалоговому вікні.

Натиснемо кнопку “ОК”. Буде відображено діалог вибору атрибутів шару, які братимуть участь у кластеризації, та створення їх опису (рис. 139).

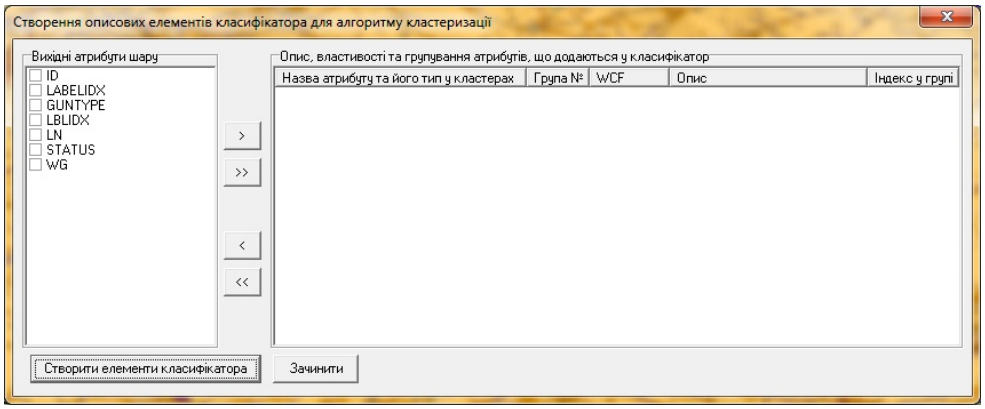


Рис. 139. Створення опису атрибутів кластеризації.

Вибираємо атрибути, які братиме участь у кластеризації, та за допомогою кнопки діалогу переміщуємо їх у праву панель діалогового вікна (рис. 140).

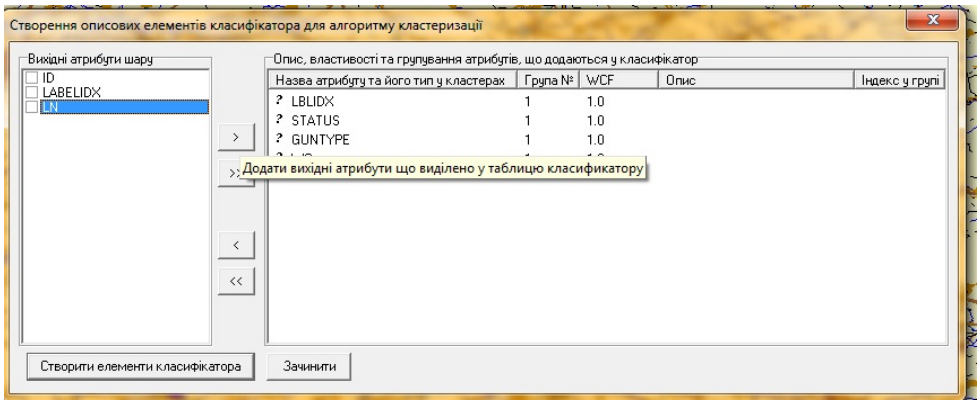


Рис. 140. Склад атрибутів для кластеризації. Додавання атрибутів LBLIDX, STSTUS, GUNTYPE, WG та LN.

Тепер, для кожного атрибуту, що доданий у праву панель діалогового вікна, треба встановити тип який він відіграватиме у алгоритмі кластерізації, та створити вербальний опис. Для цього скористуємося контекстним меню у списку доданих атрибутів (рис. 141).

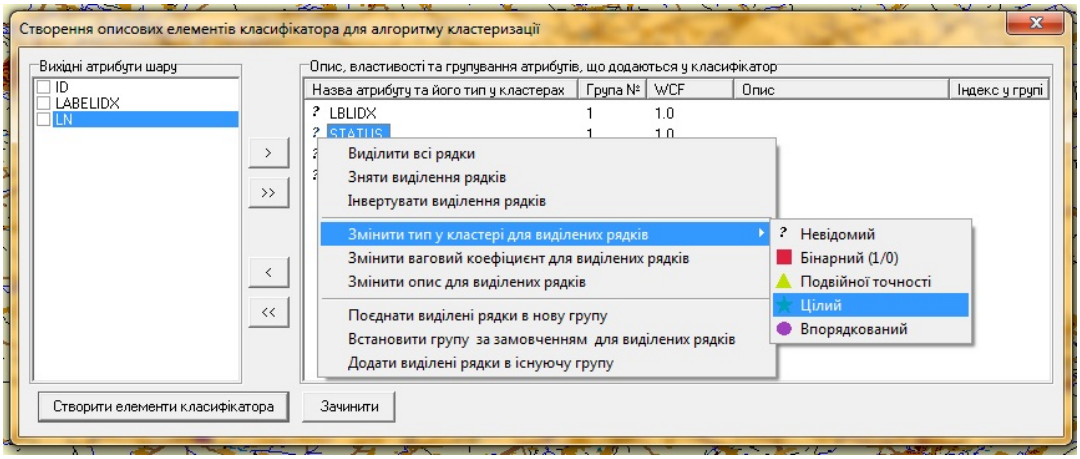


Рис. 141. Зміна типу атрибуту у алгоритмі кластеризації.

При виборі відповідного типу контекстного меню можливо, також, додати опис атрибуту та змінити значення вагового коефіцієнту для нього. За замовченням, значення вагового коефіцієнту (ступень його значимості) дорівнюється 1, але у діалоговому вікні це значення можна змінити. До речі, роботу по створенню набору та опису атрибутів треба проводити лише одноразово, при підготовки дл кластеризації нового шару карти. Створений опис зберігається у базі даних ГІС і, у подальшому, використовується для кластеризації шару.

Тепер все готово для виконання групування об’єктів на карті. Після вибору з головного меню ГІС пункту “ Моделі – Розбиття на групи (кластеризація) об’єктів карти ”, в електронну карту буде завантажена інструментальну панель моделей загального призначення ГІС, серед яких присутній набір інструментальних кнопок для кластеризації (рис. 142).

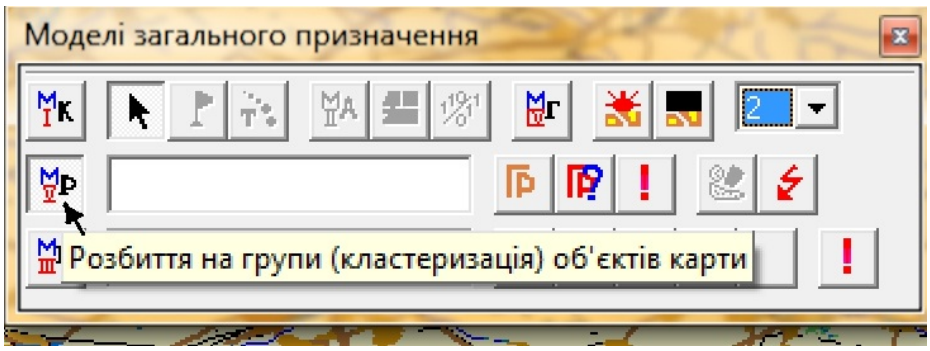


Рис. 142. Кнопки для кластеризації об’єктів на інструментальній панелі.

Створені кластери в ГІС “Інструмент” об’єднуються в групу. Властивості кожної групи кластерів можливо змінювати за допомогою інструментальних засобів. Тому, по-перше, необхідно створити хоч-би одну групу кластерів.. Для цього скористуємося інструментальною кнопкою “Управління групами кластерів” на панелі моделей загального призначення. Буде відчинене вікно роботи із групами. У ньому слід натиснути кнопку “Створити нову групу” (рис. 143).

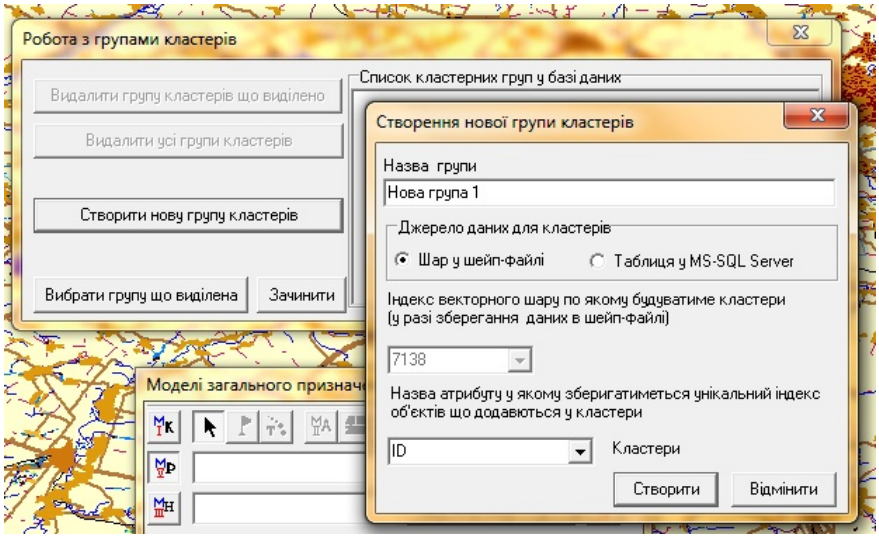


Рис. 143. Створення нової групи кластерів.

У діалоговому вікні створення групи слід ввести її назву. У демонстраційному прикладі призначимо групі, що створюється, назву “Нова група 1”. Іноді, при необхідності, у цьому вікні можна вказати назву атрибуту в якому зберігатиметься унікальний індекс об’єктів, що додаються у кластер. За

замовченням назва цього атрибуту “ID” і у більшості випадків її змінювати не потрібно.

Створивши нову групу, виділяємо її у списку діалогового вікна та натискаємо кнопку “Вибрати групу, що виділена”. Назва групи з’являється на панелі інструментів загального призначення і стає доступною інструментальна кнопка “Властивості поточної групи кластерів” (рис. 144).

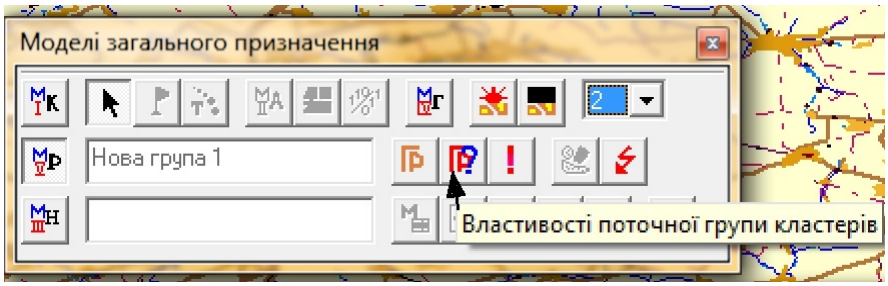


Рис. 144. Нова група кластерів створена. Проглянемо її властивості.

Буде відкрито вікно властивостей поточної групи. У цьому вікні показані назва групи, назва, індекс та псевдонім шару для якого створено цю групу список атрибутів, по яких може бути виконана кластеризація та набір інструментальних кнопок (рис. 145).

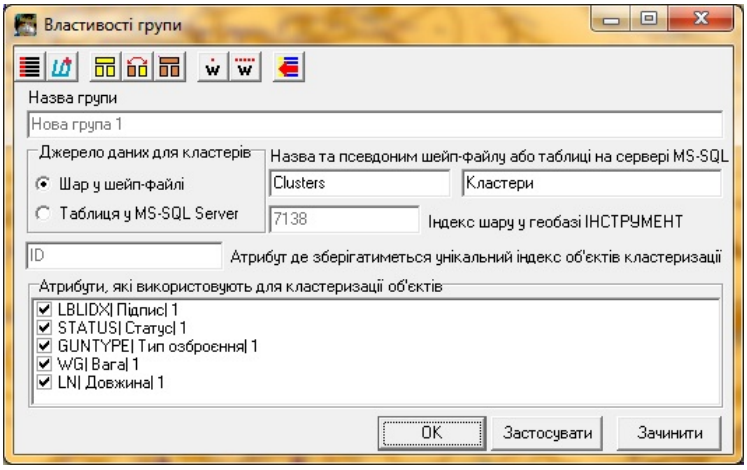


Рис. 145. Загальний вигляд вікна поточних властивосте для групи кластерів.

Кожен з атрибутів кластеризації у списку містить інформацію по його назві, ваговому коефіцієнту та опису. Можливо не додавати деякі з атрибутів цього списку у алгоритм кластеризації. Наприклад, на рис. 146 показано, що атрибути “GUNTYPE ” (Тип озброєння) та “LN” (Довжина) ігноруватимуся.

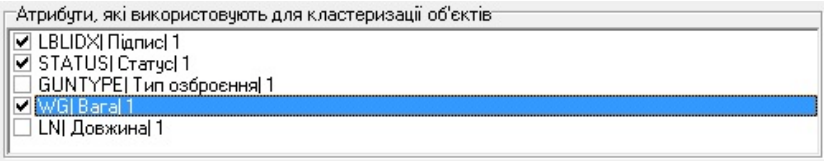


Рис. 146. Уточнюємо список атрибутів для кластеризації.

Список атрибутів, які використовуються для кластеризації об’єктів шару, прив’язаній до контекстного меню. Обираючи у списку назву необхідного атрибуту, за допомогою контекстного меню можна виконати деякі операції. Більшість з цих операцій призначається для створення, редагування і відображення шаблонів ознак. Це використовується під час виконання кластеризації за допомогою шаблонів і буде описано пізніше. Можливо, також, змінити значення вагового коефіцієнту для виділеного у списку рядка або всіх атрибутів групи (рис. 147).

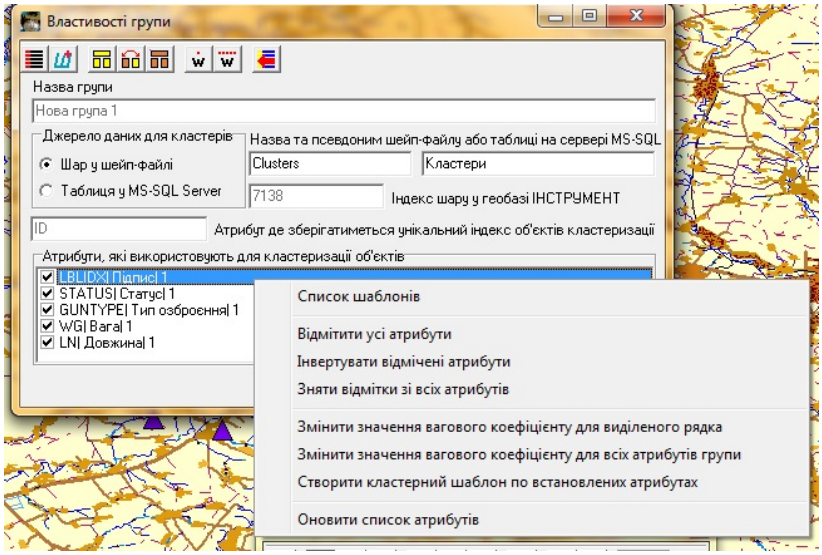


Рис. 146. Контекстне меню для атрибутів кластеризації.

Після визначення складу атрибутів для групи кластерів можна приступати безпосередньо до групування об’єктів. Для цього на інструментальній панелі моделей загального значення слід натиснути кнопку “Виконати кластеризацію” (рис. 148).

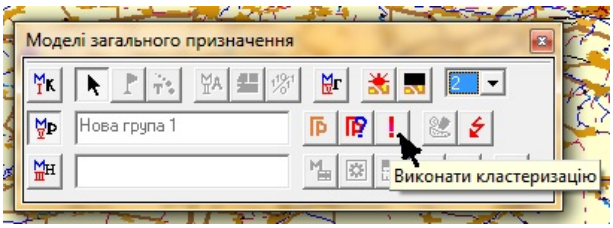


Рис. 148. Запуск кластеризації.

Буде завантажене діалогове вікно параметрів для кластеризації (рис. 149).

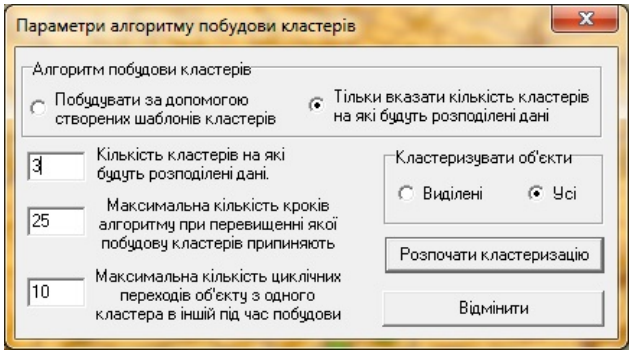


Рис. 149. Параметри алгоритму виконання кластеризації.

Оскільки ми виконуємо кластеризацію за методом k-середніх, встановлюємо у діалоговому вікні перемикач алгоритму побудови кластерів у положення “Тільки вказати кількість кластерів, на які будуть розподілені дані”. Після цього, у відповідній компоненті вводу, вказуємо кількість таких кластерів, наприклад 3. Можливо виконувати групування не для всіх об’єктів шару, а тільки для виділених на карті. Для цього необхідно встановити відповідний перемикач у діалоговому вікні. Але, у даному прикладі кластеризації підлягають всі об’єкти шару, тому перемикач залишаємо у положенні “Всі”. Натискаємо кнопку “Розпочати кластеризацію”.

Знову буде показано вікно властивостей для групи кластерів (рис. 14). У цьому діалозі остаточно уточняються склад атрибутів, за якими здійснюватиметься кластеризация. Для підвищення наочності алгоритму здійснимо кластеризацію лише за одним атрибутом – LBLIDX (Підпис, рис. 150).

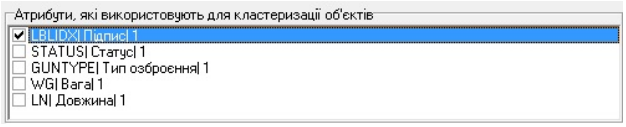


Рис. 150. Уточнення складу атрибутів для кластеризації об’єктів.

В автоматичному режимі програма здійснить обробку об’єктів шару “Кластери” та розподіліть їх на три групи. Буде відчинене вікно аналізу результатів кластеризації. Кожному створеному кластеру автоматично буде призначене ім’я (Кластер_№1, Кластер_№2, тощо). Здійснюючи подвійне натискання лівою клавішею миші на назве будь-якого кластеру у списку, спостерігаємо, за виділеними на карті об’єктами, які входять до складу створеного кластеру (рис. 20).

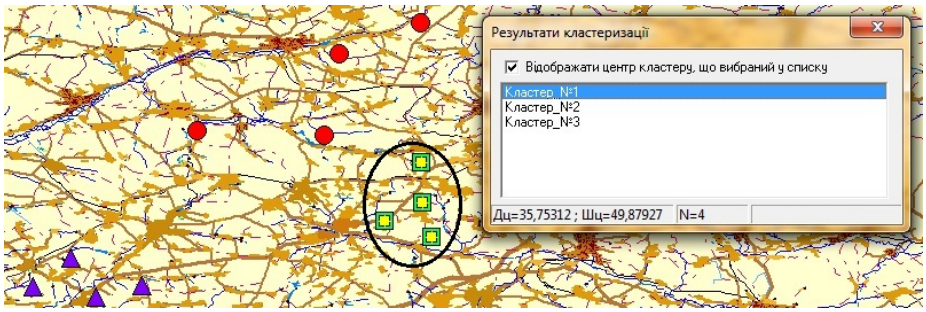


Рис. 151. Аналіз результатів кластеризації.

На карті виділені об’єкти, які відносяться до кластеру_№1.

У вікні результатів також відображаються географічні координати центру вибраного кластеру у форматі (довгота / широта). Наприклад, для кластера_№1 значення координат буде (Дц=35.75312 / Шц=49.87927). Пересуваючи курсор миші у вказану точку карти, можна візуально оцінити коректність розрахунку координат. Для ще більшої наочності, кластер_№2 проаналізуємо сумісно із таблицею атрибутів шару “Кластери”. Для цього, виділімо назву шару “Кластери” у списку шарів ГІС “Інструмент” і з контекстного меню списку виберемо пункт “Таблиця атрибутів шару і пошук об’єктів”. Таблиця атрибутів буде відчинена, після чого, у вікні результатів кластеризації вибираємо кластер_№2 (рис. 152).

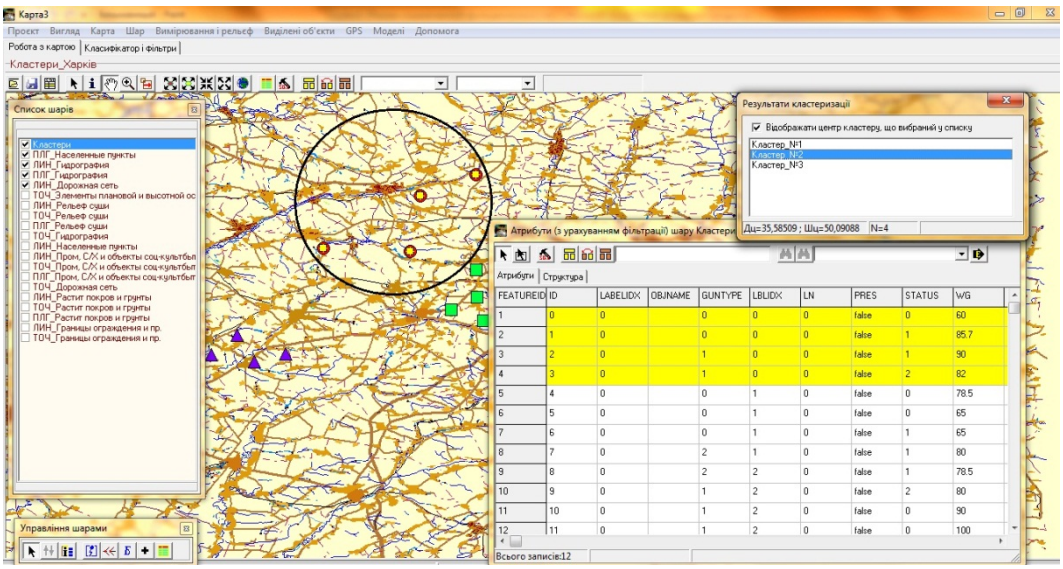


Рис. 152. Аналіз кластера_№2 сумісно із таблицею атрибутів шару.

Можна побачити, що за значенням лише одного атрибуту “LBLIDX”. Програма коректне здійснює групування об’єктів шару. Так, у кластері_№2 опинились об’єкти, для яких значення “LBLIDX” дорівнюється 0.

Щоб зачинити вікно результатів кластеризації, повернемо кнопку “Переглянути результати кластеризації” інструментальної панелі моделей загального призначення у вихідне положення (рис. 153).

Рис. 153. Зачиняємо вікно результатів кластеризації.

Ускладнюємо задачу, здійснимо кластеризацію об’єктів водночас за значеннями двох атрибутів – “STATUS” (Статус) і “WG” (Вага). Для цього знову стартуємо виконання кластеризації із кількістю кластерів 3 (рис. 17-18). Але тепер, при уточненні складу атрибутів, відмітимо атрибути “STATUS” і “WG” (рис. 154).

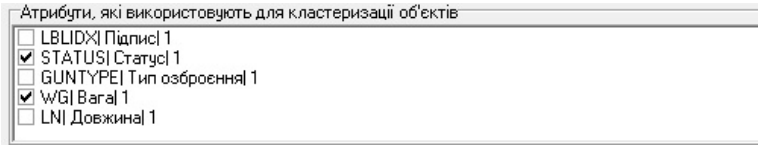


Рис. 154. Вибираємо два атрибута для кластеризації.

Кластеризація буде виконана, але тепер існує інший розподіл об’єктів між групами. Для прикладу, наведемо атрибутивну таблицю шару і склад кластеру_№2 (рис. 155).

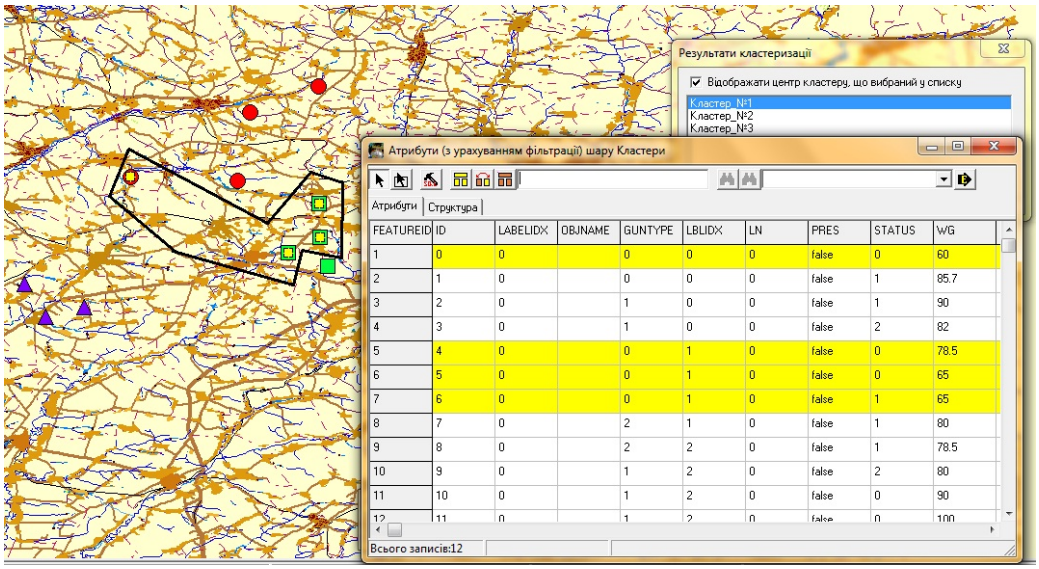


Рис. 155. Результати кластеризації за значеннями двох атрибутів.

Тепер розбиття на кластери є не зовсім інтуїтивним і потрібує ретельного аналізу вихідних даних і результатів. Дореч, у ГІС “Інструмент” існує можливість перейменування кластерів, отриманих у вікні результатів. Для цього використовується контекстне меню, пов’язане зі списком кластерів.

Щоб отримати більш наочні і інтуїтивно зрозумілі результати групування об’єктів, рекомендується скористатися методом кластеризації за допомогою шаблонів.

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШАБЛОНІВ. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для розгляду можливостей створення кластерів за допомогою шаблонів, знову в головному меню ГІС "Інструмент" вибираємо пункт "Проект – Список карт" і завантажуємо карту "Кластери_Харків", яка містить демонстраційні дані (див. рис. 137).

Послідовність дій по відображенню інструментів кластеризації така ж як у попередніх розділах – виділяємо у списку шар із назвою "Кластери", об'єкти якого мають бути згруповані у кластери. І, після цього, з головного меню програми "Інструмент" вибираємо пункт "Моделі – Розбиття на групи (кластеризація) об'єктів карти". Далі, натискаємо на інструментальній панелі можелей загального значення кнопку "Управління групами кластерів" і відчиняємо діалогове вікно роботи із групами кластерів.

У попередніх розділах ми вже створили тестову групу за назвою "Нова група 1" і визначили для неї склад атрибутів кластеризації. Тому, не треба повторювати роботу по додаванню атрибутів і їх опису. Скористуємось вже створеними даними Для цього виділяємо "Нову групу 1" зі списку і натискаємо кнопку "Вибрати групу, що виділена" (рис.156).

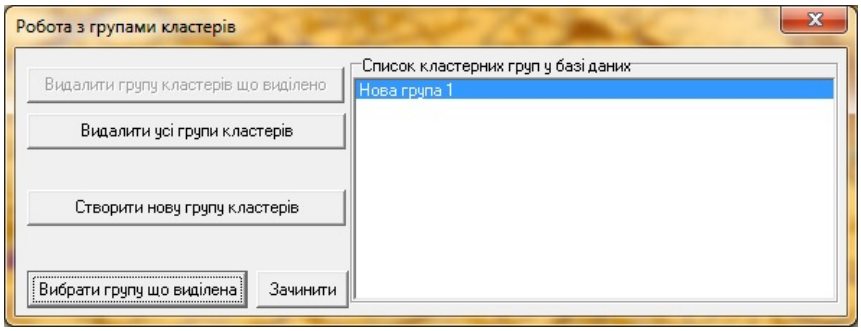


Рис. 156. Вибір існуючої групи кластерів для подальшої роботи.

Назва групи з'являється на панелі інструментів загального призначення і стає доступною інструментальна кнопка "Властивості поточної групи кластерів" (див. рис. 154). Натискаємо її. Відчиняється діалогове вікно властивостей "Нової групи 1" (рис. 157).

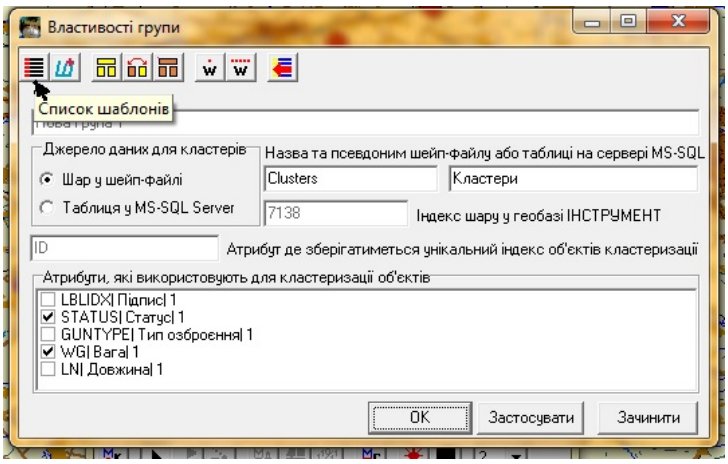


Рис. 157. Вікно властивостей для “Нової групи 1”.

У групі відмічені два атрибути “STATUS” (Статус) та “WG” (Вага). Саме їх використаємо для створення шаблонів. Можна створити більш складні шаблони, відмітивши додатково ще будь-які атрибути, але для пояснення методики кластеризації за допомогою шаблонів, цих двох буде достатньо.

У наборі інструментальних кнопок діалогового вікна, до роботи із шаблонами мають відношення перші дві (рис. 158).

Рис. 158. Інструментальні кнопки вікна властивостей групи кластерів.

Ці дві кнопки, відповідно, виконують наступні функції:

– відображають список шаблонів, створених для алгоритму кластеризації;

– створюють новий шаблон.

Функції цих кнопок дублюються у контекстному меню списку атрибутів. Створимо новий шаблон, вибравши у контекстному меню пункт “Створити кластер ний шаблон по встановлених атрибутах” (рис. 159).

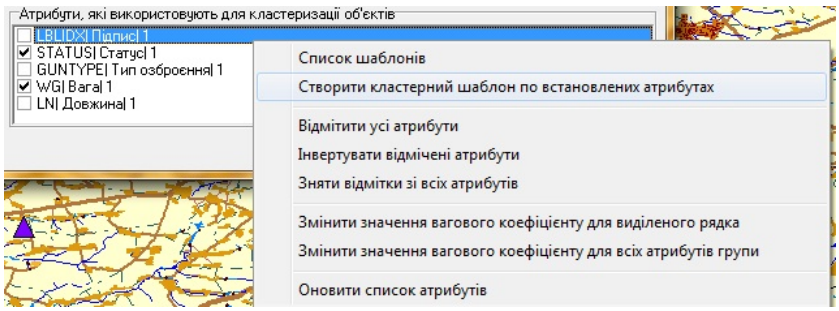


Рис. 159. Створення нового шаблону за допомогою контекстного меню.

Буде відкрите діалогове вікно параметрів шаблону, що створюється (рис. 160).

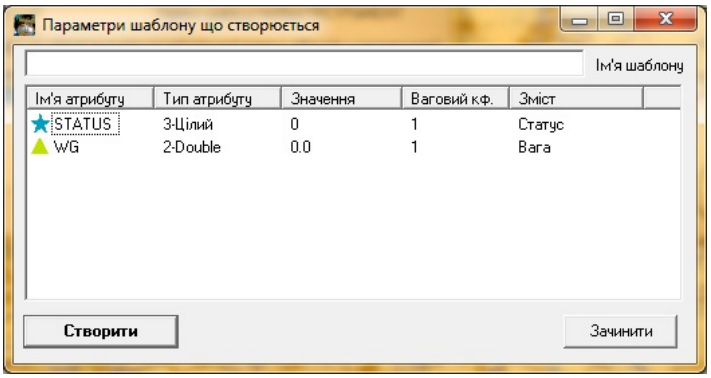


Рис. 160. Діалогове вікно параметрів шаблону, що створюється.

Створимо кластер ний шаблон, порівнюючи близькість до якого, об’єкти шару “Кластери” будуть віднесені до тієї чи іншої групи. Шаблон містить значення для двох атрибутів:

– STATUS (Статус) = 2;

– WG (Вага) = 80 кг.

Для цього, у діалоговому вікні введемо назву “Шаблон №1” для шаблону, що створюється. Далі, визначаємо виділяємо назву атрибуту “STATUS“ у списку атрибутів і за допомогою контекстного меню здійснюємо операцію “Змінити значення вибраного атрибуту”. Буде відчинене вікно, у якому слід ввести нове значення, яке дорівнюється 2 (рис. 161).

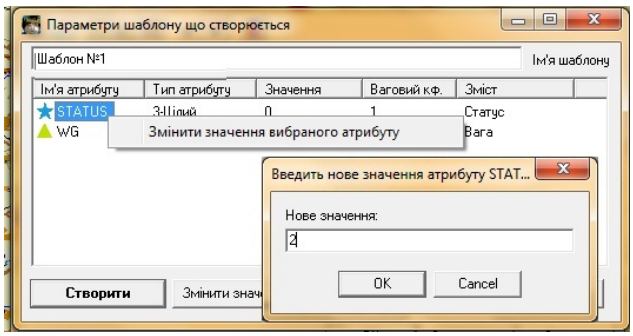


Рис. 161. Встановлення нового значення для атрибуту “Статус” шаблона.

Саме так, змінюємо значення атрибуту “WG”, вводячи нове значення 80. Після цього натискаємо кнопку “Створити”. Шаблон буде створений.

Побудуємо ще один шаблон, за назвою “Шаблон №2”, для якого визначимо таки значення:

– STATUS = 0;

– WG = 70 кг.

Тепер, для шару кластери створені два шаблоні. Зачиняємо поточне діалогове вікно і повертаємося до діалогу властивостей групи. У контекстному меню списку атрибутів вибираємо пункт “Список шаблонів”, для того, щоб відобразити створені в групі шаблони (рис. 162).

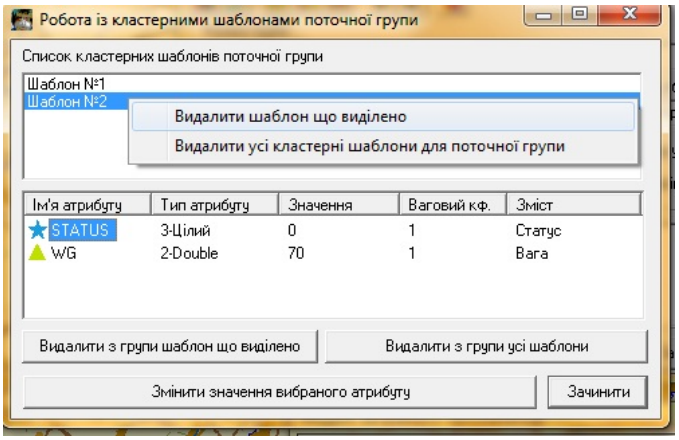


Рис. 162. Список шаблонів, що створені у групі.

У діалоговому вікні можна редагувати значення атрибутів для певних шаблонів, або видаляти шаблони, які виділені у списку.

Підготовка шаблонів завершена. Тепер виконаємо розбиття на групи для об’єктів шару “Кластери”. Для цього, на панелі моделей загального призначення (див. рис. 17) натискаємо кнопку “Виконати кластеризацію”.

Буде завантажене діалогове вікно параметрів для кластеризації (див. рис. 18). Але тепер, слід встановити перемикач “Алгоритм побудови кластерів” у положення “Побудувати за допомогою створених шаблонів кластерів” (рис. 163).

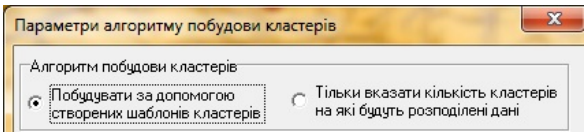


Рис. 163. Задаємо алгоритм побудови кластерів за допомогою шаблонів.

На відміну від кластеризації за методом k-середніх, тепер не треба вказувати кількість кластерів, на які будуть розподілені дані”. Система автоматично здійснить розбиття на таку кількість кластерів, яка дорівнюється кількості створених шаблонів, тобто на 2. Тобто, кожен об’єкт шару “Кластери” порівнюється за максимальною близькістю до одного із двох кластерів. Вікно результатів кластеризації показано на рис. 164. На цьому ж рисунку в атрибутивній таблиці шару виділені об’єкти, які віднесені до шаблону_№2.

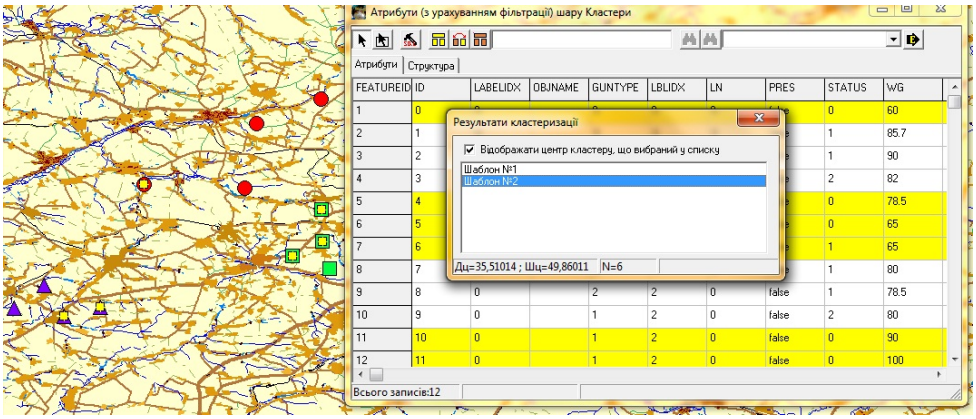


Рис. 164. Результати кластеризації за шаблонами.

У залежності від вихідних даних та висунутої задачі, користувач може вибирати більш коректний, на його погляд, алгоритм кластеризації – за методом k-середніх, або за методом шаблонів.

МОДЕЛЬ “АНАЛІТИКА”. ПРИЗНАЧЕННЯ, МОЖЛИВОСТИ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ.

Органам державної влади необхідно мати простий але ефективний механізм, який дозволив би проводити аналіз стану соціальної напруженості в суспільстві, виходячи зі статистики подій та інформаційних потоків які циркулюють у звітах, засобах масової інформації (ЗМІ) та соціальних мережах. Беручи до уваги територіальну неоднорідність розподілу соціальних даних, різні рівні соціально-економічного розвитку регіонів країни, виявленні більш детальної інформації при переході на аналіз в масштабі міста або навіть кварталу, ми приходимо до необхідності залучення спеціальних методів геопросторового та статистичного аналізу соціальних процесів. Сучасні геоінформаційні системи мають потужні засоби статистичного аналізу, що інтегруються з новітнім програмним забезпеченням та зовнішніми базами даних і тому можуть служити опорним плацдармом для аналізу та прогнозу.

В основу механізму прогнозування кризових ситуацій ГІС “Інструмент” закладений класичний статистичний аналіз і методи прогнозування в об'єднанні з сучасними технологіями збору, нанесення і обробки геопросторових даних на електронну карту за допомогою інструментів геопросторового аналізу. У цьому випадку для подій пов'язаних з координатами карти постає можливим:

– групування об'єктів у вигляді кластерів навколо певних регіонів, міст або кварталів (залежно від масштабу карти);

– пошук географічних просторових зв’язків між об’єктами, пов'язаними згідно класифікатора подій із певним типом протестної активності і значеннями атрибутів об'єктів на карті;

– використання технологій геопросторових запитів для виділення груп об'єктів, отримання їх координат, розміщення на електронній карті і редагування атрибутів;

– розрахунок довгострокових і короткострокових прогнозів виникнення

кризових ситуацій, статистичних показників розподілу подій на певній території і відображення їх на карті у вигляді діаграм.

Модель “Аналітика” є доповненням інструментів кластерного аналізу ГІС. Вона призначається для збору та нанесення на електронну карту інформації, яка стосується ознак соціально-економічної загрози у регіонах України, аналізу цієї інформації та формування на основі зібраної статистики прогнозу розвитку ситуації, а також збереження об’єктів моделі у географічній базі даних ГІС “Інструмент”.

На відміну від інструментів кластерного аналізу, методи роботи із яким були описані вище, модель “Аналітика” максимально спеціалізована і наближена до потрібностей користувача. В ній не потрібно створювати шаблоні із значень атрибутів, тому що, такі шаблони вже присутні в системі. Визначено склад і набори атрибуті, які формують ознаки протестної активності. Вже існують форми для збору і аналізу інформації. Не потрібно у ручному режимі формувати запити до атрибутів шарів, тому що, таки запити автоматично створюються при роботі користувача із даними. Дореч, така технологія має назву *запити по зразках* (Queries By Examples, QBE).

У своєму складі модель “Аналітика” містить наступні інструменти:

– електронний класифікатор протестних подій, якій дозволяє формалізувати збір та додавання на електронну карту подій що трапляються у різних регіонах України упродовж певного часу та відповідають показникам соціально-економічної загрозі;

– блок геопросторових запитів до бази подій моделі “Аналітика”, якій дає можливість формувати критерії пошуку подій, що містять часову, просторову та атрибутивну складову;

блок графічного відображення статистичної інформації на базі сформованого геопросторового запиту;

– блок аналізу існуючих та створення нових зв’язків між подіями за допомогою об’єднання цих подій у кластери які сформовані на базі значень атрибутів у базі даних моделі “Аналітика”;

– допоміжний інструмент аналізу вихідної текстової інформації, яка містить маркери (ключові слова та рядки) що характеризують текст що аналізується як той що містить ознаки соціально-економічної загрозі або дозволяють виявити у тексті характеристики подій що відносяться до певного класу загрози;
– елементи прогнозу розвитку ситуації в вибраних регіонах за допомогою формування та обробки часових рядів.
Мінімальною інформаційною одиницею моделі “Аналітика” є, так звана, “протестна подія” – точковий об’єкт, який, в свою чергу, описує явище, що має фіксований набір атрибутів, призначене для нанесення на електронну карту. Це явище характеризує реальну подію що трапилась у певному регіоні України, у деякий час. Усі такі події об’єднані у певний шар електронної карти який має бути завантажений у ГІС “Інструмент” для того щоб у користувача була можливість роботи з моделлю “Аналітика”.

МАСШТАБУВАННЯ МОДЕЛІ ЗА ДАНИМИ КАРТИ

Перш ніж здійснювати збір та аналіз інформації для моделі, слід визначитися із регіоном моделювання. Тобто, відповідаємо на питання, на якому рівні надаються та підлягають аналізу дані? Справа у тому, що аналітик може працювати із інформацією на рівні областей України, виявляючи закономірності і порівнюючи стан, наприклад, для Харківської, Львівської та Запоріжської областей. З іншого боку, аналіз може здійснюватися на рівні кількох міст однієї області. І, насамкінець, може проводитися аналіз активності по кварталах, у межах одного місця. Тобто, мова йде про зміну масштабу моделі та її деталізації. Тому, на карті необхідно виділити полігональні об’єкти (області, міста чи райони), для яких буле здійснений аналіз. У нашому демонстраційному прикладі, виконаємо такий аналіз для трьох кварталів міста. Для цього виділяємо у списку шарів ГІС шар із назвою “Квартали”. На карті нанесені три умовних квартали місця із назвами:
– Ленський квартал;

– Нагірний квартал;

– Південний квартал.

Виділяємо всі їх за допомогою, наприклад, інструментів виділення на панелі ГІС (рис. 165).

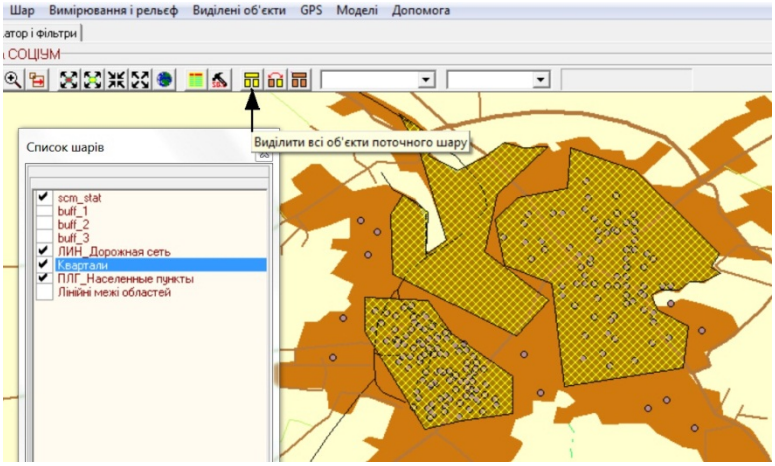


Рис. 165. Визначення масштабу роботи із моделлю на рівні кварталів міста.

Тепер все готово для початку моделювання! Розпочинаємо роботу із моделлю “Аналітика”.

РОБОТА ІЗ МОДЕЛЛЮ “АНАЛІТИКА”.

Як і у попередніх розділах, скористуємося демонстраційною картою, щоб дослідити можливості моделі “Аналітика”. Після запуску програми у діалоговому вікні підключення до географічної бази даних ГІС “Інструмент” натискаємо на кнопку “Підключити”. Після цього зі списку карт вибираємо карту із назвою “Моделі Аналітика і Соціум” (рис. 166).

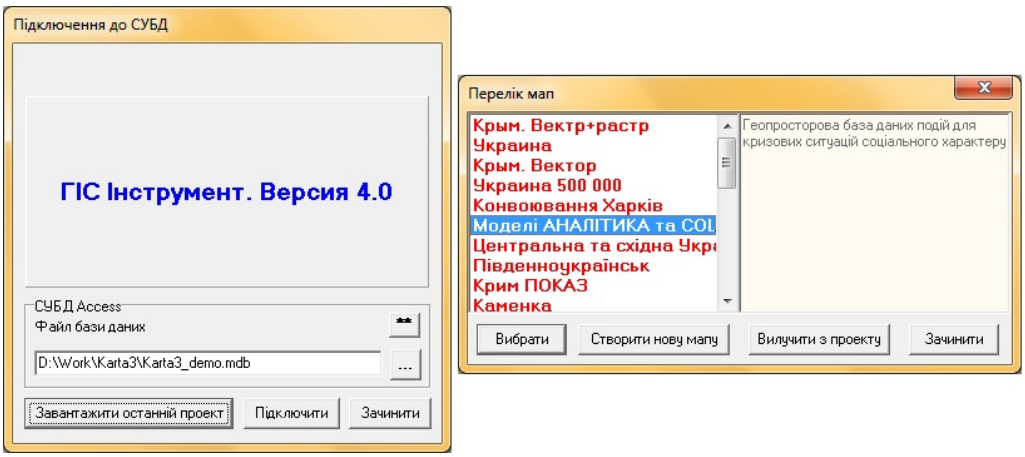


Рис. 166. Підключення до бази даних та вибір карти із демонстраційною моделлю можливостей “Аналітики”.

Далі завантажується вибрана карта. У списку шарів ГІС виділяємо шар із назвою “scm_stat”. У ньому зберігаються об’єкти протестних подій (рис. 167).

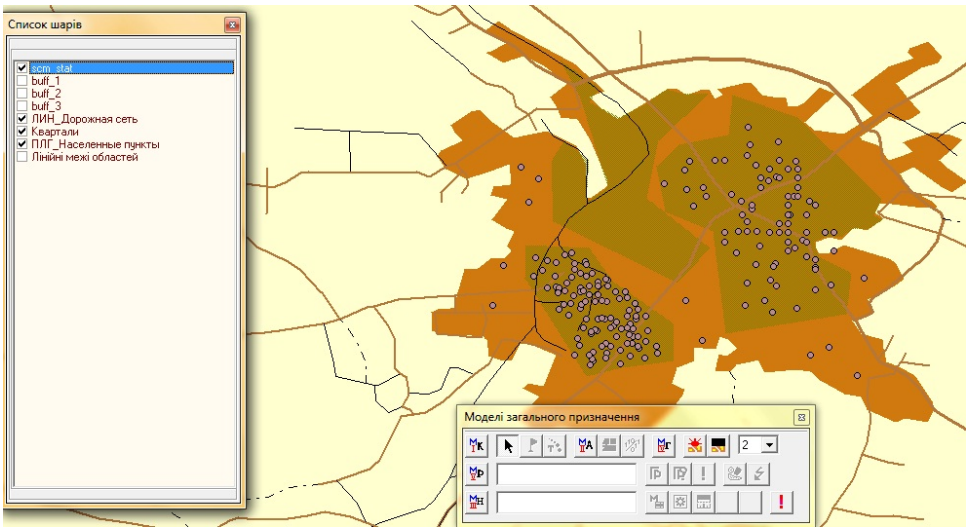


Рис. 36. Завантажена карта місцевості і точкові об’єкти протестних подій.

Переглянемо зміст атрибутивної таблиці для шару “scm_stat”. Для цього, після виділення його назви у списку шарів ГІС, у контекстному меню вибираємо опцію “Таблиця атрибутів шару і пошук об’єктів” (рис. 168).

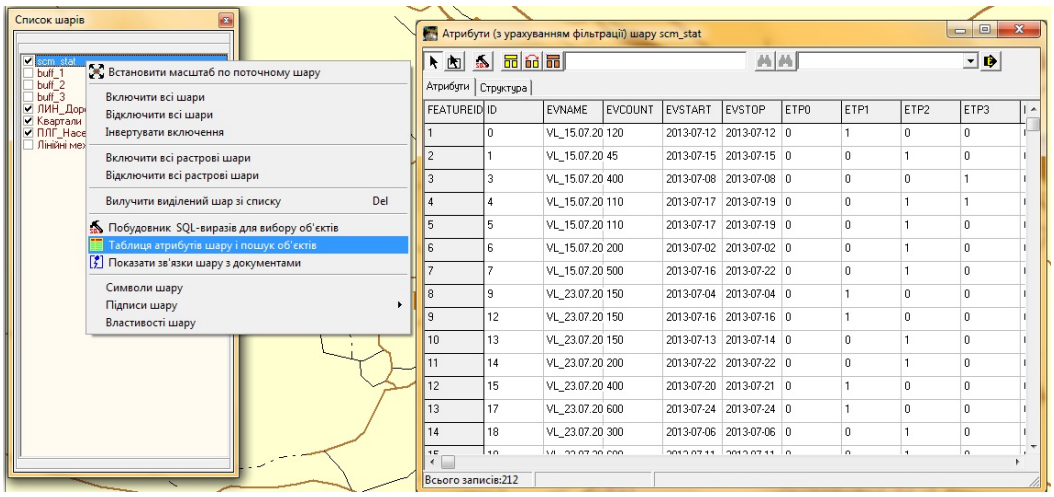


Рис. 168. Таблиця атрибутів для шару “scm_stat” із об’єктами подій.

Аналізуючи цю таблицю, можна побачити величезну кількість атрибутів. Тому не доцільно (хоч і можливо) вводити значення таких атрибутів для протестних подій безпосередньо у таблиці. Рекомендується для вирішення цієї задачі використовувати спеціально створені для моделі діалогові вікна (форми) і технологію QBE.

СТВОРЕННЯ ЗАПИТІВ ДО ОБ’ЄКТІВ КАРТИ.

Щоб отримати доступ до форм вводу інформації, слід використовувати кнопки на інструментальній панелі моделей загального призначення. На рис.169, ті кнопки що відносяться до моделі “Аналітика”, виділені за допомогою кола.

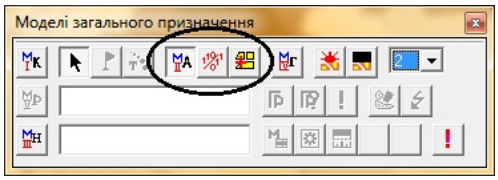


Рис. 169. Кнопки управління в моделі “Аналітика”.

Якщо формати виділеного у списку ГІС шару та загальної структури моделі “Аналітика” співпадають, після означених дій, на інструментальній панелі моделей загального призначення кнопка “Моделі АНАЛІТИКА та СОЦІУМ” стає натиснутою. Якщо формати не співпадають, програма повідомить про це.

Тоді, у списку шарів ГІС треба буде знайти шар із відповідною структурою, виділіть його і натиснути цю кнопку. В нашому прикладі було виділено шар із назвою “scm_stat”, який вже має структуру, яка відповідає моделі “Аналітика”. Тепер, натискаємо кнопку із назвою “Головне вікно моделі Аналітика” і відчиняємо головну форму, в якій здійснюватиметься моделювання (рис. 170).

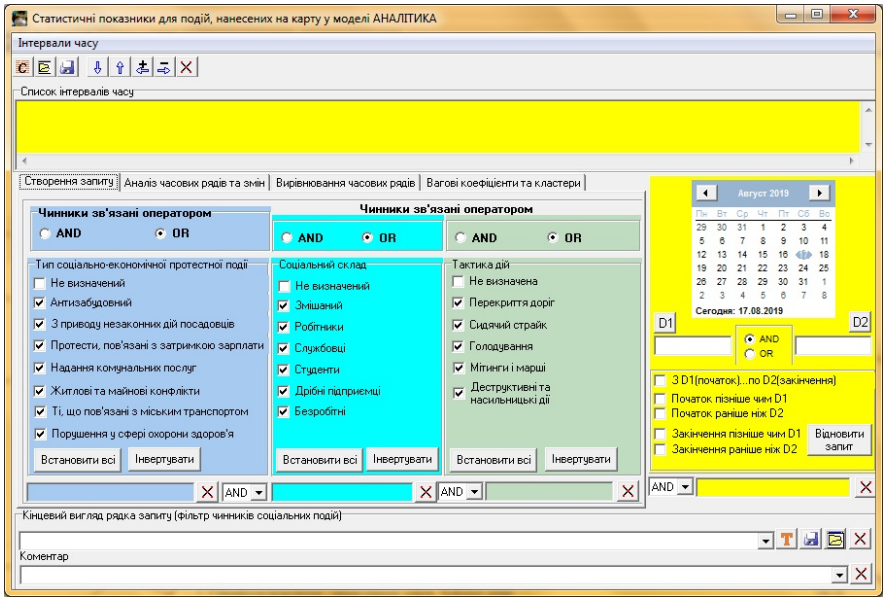


Рис. 170. Головне вікно моделі “Аналітика”.

Повторне натискання кнопки “Головне вікно моделі Аналітика”, зачиніть головне вікно моделі.

Головне вікно моделі “Аналітика” містить чотири вкладки:

– створення запиту;

– діаграма змін упродовж часу (візуалізація);

– вирівнювання часових рядів;

– вагові коефіцієнти та кластери.

Відповідно, моделювання дозволяє виконувати наступні операції:

1. Формувати для об’єктів, нанесених на карту у вигляді точкових протестних подій, складні запити, які містять значення атрибутів подій, часові та просторові характеристики, геопросторові зв’язки між об’єктами карти.

2. Відображати результати таких запитів у вигляді стовпчикових діаграм, побудованих для певних регіонів, міст або міських кварталів, упродовж

визначених інтервалів часу. Фактично за допомогою таких діаграм будуються часові ряди для вибраних у запиті подій.

3. Згладжувати часові ряди та прогнозувати кількість подій певного типу у регіонах у майбутньому.

4. Групувати події у кластери за критеріями мінімальних відстаней у багатомірному просторі ознак. Створювати типові шаблони, які відповідають різним станам соціально-економічної загрози у регіонах та на базі сталого формування таких кластерів отримувати ще одну можливість прогнозу розвитку ситуації.

Зміст першої вкладки за назвою “Створення запиту” відображає класифікатор протестних подій. Вкладка розподілена на три групи (панелі):

– тип соціально-економічної протестної події;

– соціальний склад учасників;

– тактика дій учасників.

Для прикладу, розглянемо принципи роботи із вкладкою “тип соціально-економічної протестної події”. Для неї у класифікаторі визначені наступні типи:

– не визначений;

– антизабудовні протести;

– протести з приводу незаконних дій посадовців;

– затримка зарплати;

– протести пов'язані з якістю та вартістю надання комунальних послуг;

– житлові та майнові конфлікти;

– протести пов'язані з міським транспортом;

– порушення у сфері охорони здоров'я (рис. 171).

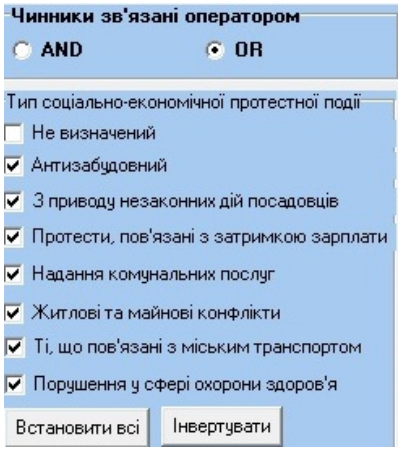


Рис. 171. Фрагмент класифікатора моделі.

Під час складання запитів до об’єктів карти, чинники, наведені на рис. 171, можуть бути пов’язані між собою за допомогою операторів “І” (AND) та “АБО” (OR). Це дозволяє робити більш гнучкі запити. Склад учасників визначається у класифікаторі за допомогою наступних опцій:

– не визначений

– змішаний;

– робітники;

– службовці;

– студенти;

– дрібні підприємці;

– безробітні.

І знову, моделюючи склад учасників протестних дій, аналітик може зв’язувати ці опції за допомогою операторів “І” (AND) та “АБО” (OR).

Насамкінець, події можуть розрізнятися по тактиці дій учасників. Для цього в електронному класифікаторі передбачено наступні опції:

– тактика не визначена;

– перекриття доріг;

– сидячий страйк;

– голодування;

– мітинги та марші;

– деструктивні та насильницькі дії.

Як вже говорилося, при створенні запитів, опції у середині кожної з трьох вкладок можуть бути пов’язані між собою операторами OR або AND (вертикальні відносини). Але, крім того. тип подій, склад учасників і тактика їх дій, також пов’язані між собою за допомогою цих операторів (горизонтальні відносини). Наведемо приклади для кількох запитів. Перший запит виділити на карті усі події, для яких у наявності таки ознаки: “антизабудовні” АБО “надання комунальних послуг” АБО “житлові та майнові конфлікти”. Всі ці ознаки віднесені до єдиної групи “тип соціально-економічної протестної події” і, тому, моделюються у запиті за допомогою вертикального зв’язку OR. У програмі фрагмент запиту для цього випадку має наступний вигляд:

(ETP1=1 OR ETP4=1 OR ETP5=1)

Вигляд відповідної панелі показаний на рис. 172.

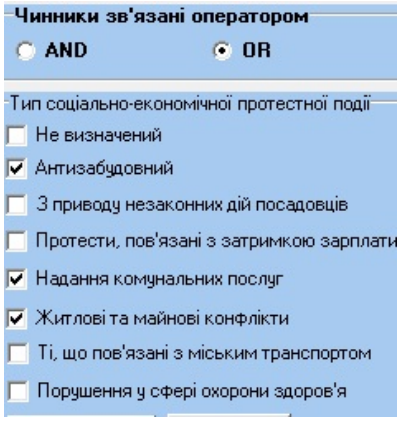


Рис. 172. Приклад вертикальних зв’язків під час формування запиту для групи “тип соціально-економічної протестної події”.

Наступний приклад демонструє створення як вертикальних так і горизонтальних зв’язків між ознаками під час створення запитів на вибірку або кластеризацію об’єктів. Для цього додаємо у вихідні дані попереднього прикладу наступні обмеження: “соціальний склад учасників = не визначений” ТА “тактика дій = не визначена”. Далі групи “тип подій”, “склад учасників” і “тактика дій”, пов’яжемо між собою за допомогою оператора AND. Створений у програмі запит для цих умов має вигляд:

(((ETP1=1 OR ETP4=1 OR ETP5=1) AND (CNTG0=1)) AND (TCT0=1))

Фрагмент діалогового вікна моделі для цього запиту, показаний на рис. 173.

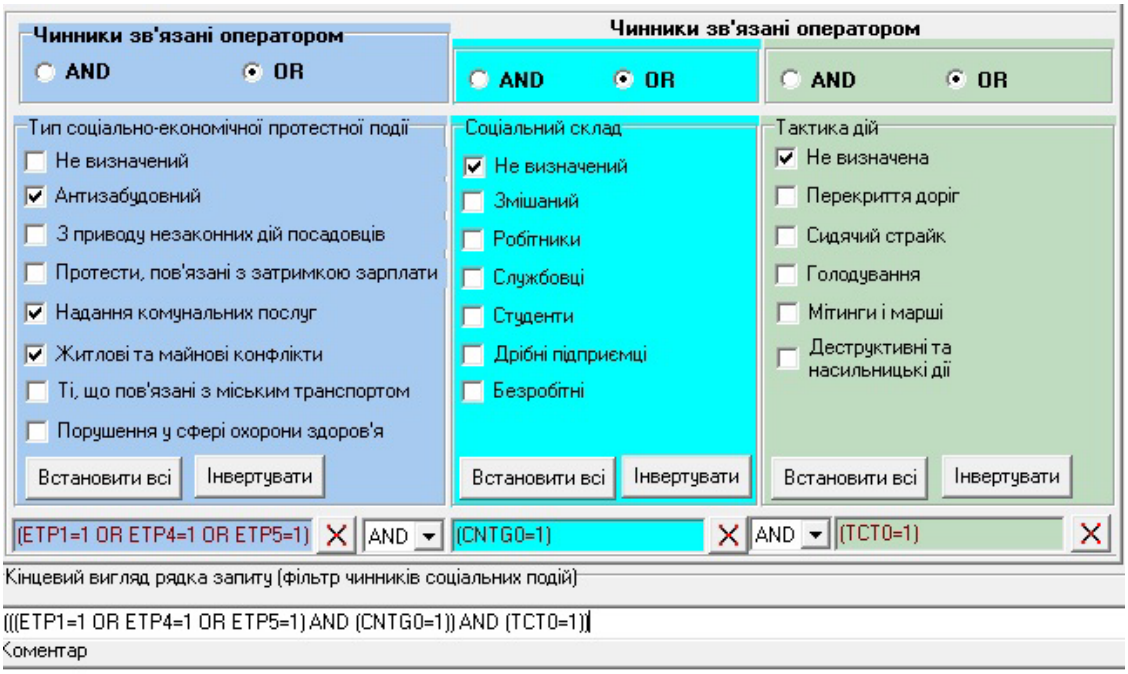


Рис. 173. Формування вертикальних і горизонтальних зв’язків у запиті.

Таким чином, формування запиту за технологією QBE, набагато зручніше ніж створення тексту запиту у ручному режимі. Користувачеві не потрібно знати назви і можливі діапазони значень атрибутів шару, який містить протестні події. Він просто встановлює на формі необхідні перемикачі, а запит формується автоматично.

Відмітимо, що требо обережно встановлювати горизонтальні зв’язки за допомогою операторів AND та OR. Наведемо приклад, коли, на відміну від попереднього запиту горизонтальні зв’язки встановлюються за допомогою оператора АБО (OR). Вербально такий запит формалізується так: (“тип протесту = антизабудовні” АБО “тип протесту = надання комунальних послуг” АБО “ тип протесту = житлові та майнові конфлікти”) АБО “соціальний склад учасників = не визначений” АБО “тактика дій = не визначена”.

У програмі такий запит має наступний вигляд:

(((ETP1=1 OR ETP4=1 OR ETP5=1) OR (CNTG0=1)) OR (TCT0=1))

У відповідності із таким запитом на карті буде виділена зовсім інша множина об’єктів. Для того, щоб зрозуміти, це більш детально, рекомендуємо

користувачеві ознайомитися у додатковій літературі [365, 366] із принципами вибірки за допомогою SQL-запитів.

ДОДАВАННЯ ЧАСОВОЇ СКЛАДОВОЇ У МОДЕЛЬ.

Ми вже ознайомилися із структурою атрибутів для точкових об’єктів-подій, які нанесені на електронну карту моделі. Однак, крім атрибутивної складової і координат, кожна така подія характеризується часом або інтервалом часу виникнення, тривалості та закінчення. Здійснюючи вибірку об’єктів у моделі “Аналітика” користувач має можливість додати у запит часову складову. Для цього, у головному вікні створена панель формування часових складових запиту (рис. 174).

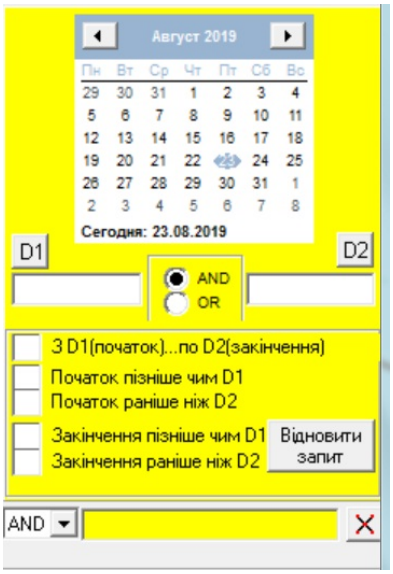


Рис. 174. Панель для формування часової складової запиту.

Часова складова запиту складається із значень, визначених у полях D1 та / або D2. Для того, щоб додати якесь значення, слід на календарі виділити певну дату, а після цього натиснути D1 або D2 (рис. 175).

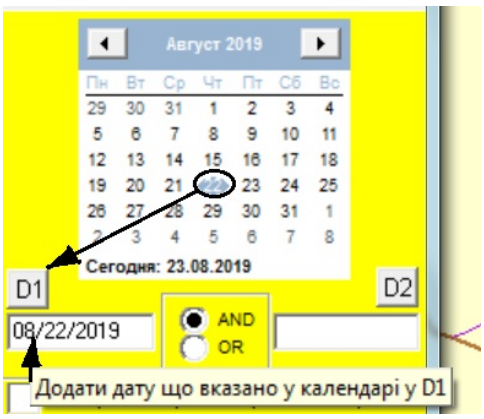


Рис. 175. Використання календаря для створення компонентів запиту.

На панелі створення часових компонентів запиту користувачеві пропонується кілька шаблонів для більш зручного введення даних:

– сформувати запит на вибірку подій із терміном початку D1 та терміном закінчення D2;

– сформувати запит на вибірку подій із терміном початку пізніше D1;

– сформувати запит на вибірку подій із терміном початку раніше D2;

– сформувати запит на вибірку подій із терміном закінчення пізніше D1;

– сформувати запит на вибірку подій із терміном закінчення раніше D2.

Після вибору однієї з цих опцій, на панелі формується часова складова запиту (рис. 176).

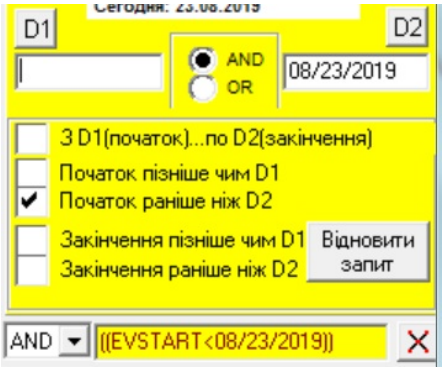


Рис. 176. Використання шаблонів для введення дат.

Сформована таким чином часова складова, додається до атрибутивної складової запиту за допомогою горизонтального зв’язку AND або OR.

Наведемо приклад запиту, який вербально формується так – вибрати на карті всі об’єкти-події для яких:

– тип протестної події = антизабудовний;

– або тип протестної події = житлові та майнові конфлікти;

– та склад учасників = не визначений;

– та тактика дій = перекриття доріг;

– або тактика дій = мітинги і марші;

– та час початку події з 01.01.2014;

– та час закінчення події до 31.03.2014.

За допомогою QBE-інструментів запит буде сформований наступним чином:

(((ETP1=1 OR ETP5=1) AND (CNTG0=1)) AND (TCT1=1 OR TCT4=1)) AND (EVSTART>=01/01/2014 AND EVSTOP<=03/31/2014)

За допомогою відповідних кнопок головного вікна моделі “Аналітика” можна додати коментар у запит, що створено, зберегти цій запит або завантажити його у форму (рис. 177.

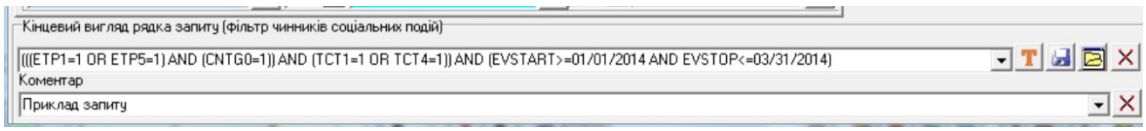


Рис. 177. Кнопки для збереження, завантаження і додавання коментарів в текст створеного запиту.

Ми розглянули принципи побудови запитів до даних моделі “Аналітика”. Саме тепер повернемося до питання створення на електронній карті кластерів протестних подій, виділених за ознаками у багатовимірному просторі атрибутів. Розглянемо, також, питання візуалізації даних отриманих у мотелі.

ВІДОБРАЖЕННЯ СТАТИСТИКИ ПОДІЙ ДЛЯ МОДЕЛІ “АНАЛІТИКА”.

Ми підійшли до самого головного моменту. У цьому розділі описується методика аналізу даних, на базі якої була створена модель “Аналітика” та

дається відповідь на важливі питання. Як серед подій, нанесених на карту, виділити за набором ознак і сформувати таки групи, які описують стан у певному регіоні? Як відобразити групи подій, що виділені для кількох регіонів України у вигляді графіків або діаграм? Як врахувати часову складову виникнення та тривалості подій?

Вибираємо масштабування моделі на рівні кварталів міста (більш детально див. розділ “Масштабування моделі за даними карти”). Для початку, у списку шарів має бути виділений шар із назвою “Квартали”. Після цього, з головного меню ГІС “Інструмент” вибираємо пункт “Шар – Виділити всі об’єкти поточного шару”. Три квартали, які існують у демонстраційному прикладі, будуть виділені. Повертаємось знов до списку шарів і виділяємо шар із назвою “scm_stat” (див. рис. 165).

Розглянемо, наприклад, статистику протестних подій протягом 2013 року для трьох виділених кварталів міста. Встановлюємо у класифікаторі подій опції. Для типу протестних подій:

– антизабудовний;

– протести, що пов’язані із затримкою зарплатні;

– житлові та майнові конфлікти.

Для соціального складу учасників:

– робітники;

– службовці;

– студенти.

Для тактики дій учасників:

– перекриття доріг;

– сидячий страйк;

– мітинги та марші.

Налаштування класифікатора показано на рис. 178.

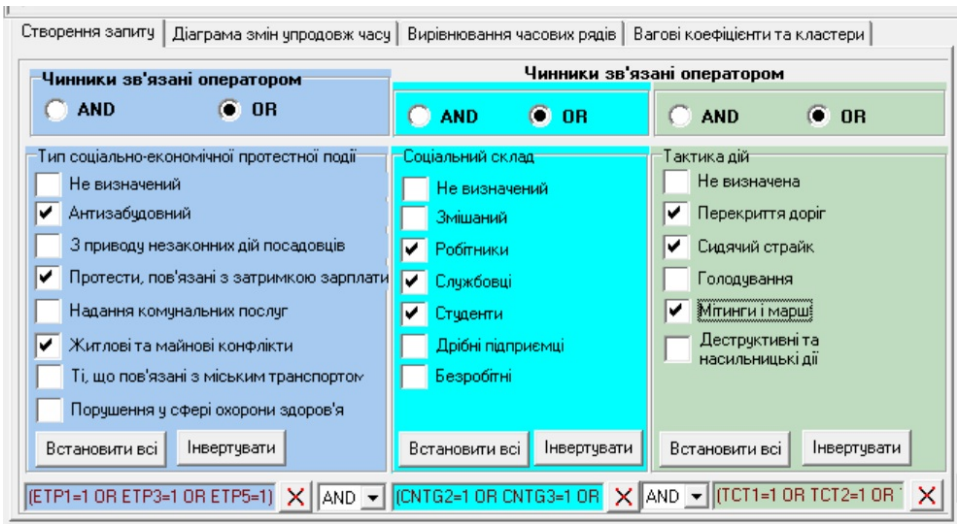


Рис. 178. Налаштування класифікатора для відображення статистики.

Статистика у нашому прикладі має відображатися для 2013 року із щомісячними інтервалами. Тому, натиснемо кнопку “Завантажити інтервали часу із текстового файлу” і додаємо у класифікатор текстовий файл с демонстраційним фрагментом запиту, якій містить необхідні інтервали часу. Файл для нашого прикладу має назву “Рік_2013” та знаходиться у підкаталогу “Data/_Queries”, відносно каталогу інсталяції ГІС “Інструмент” (рис. 179).

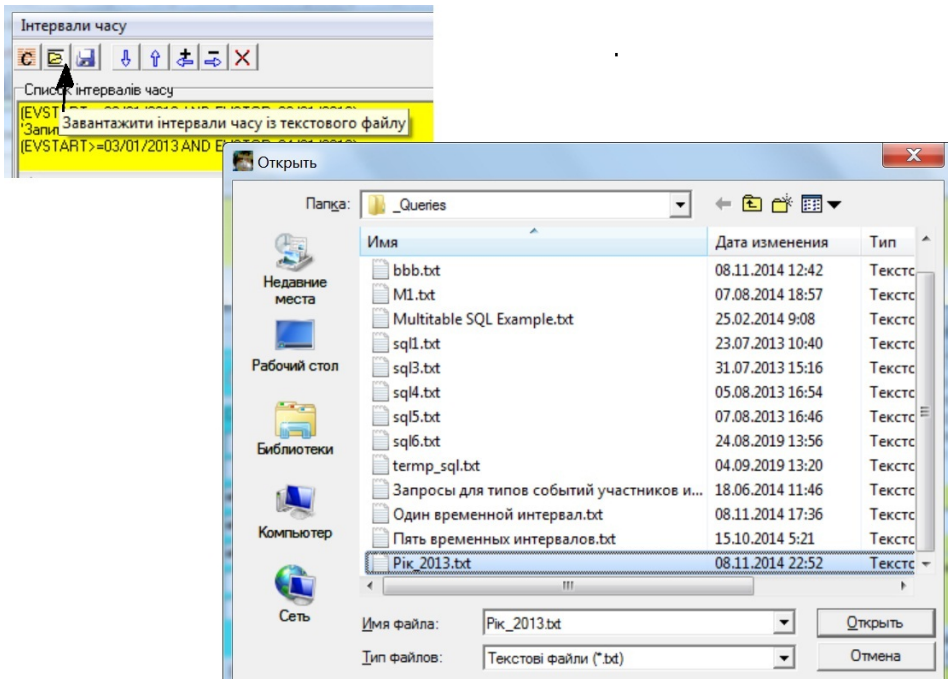


Рис. 179. Завантажуємо інтервали часу для демонстраційного прикладу.

Тепер, розглянемо як відобразити статистику подій, зібрану згідно установок класифікатора. Для цього, у головному вікні моделі перейдемо на панель із назвою “Діаграма змін упродовж часу” (рис. 180).

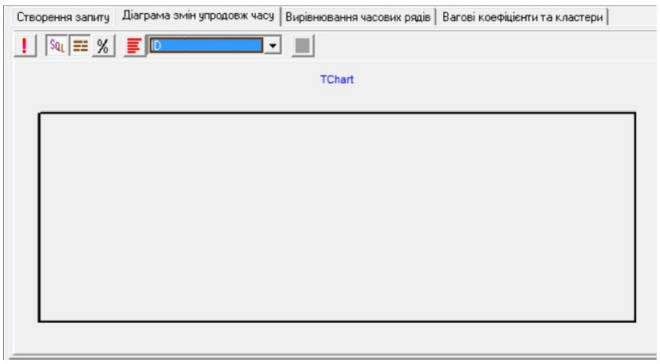


Рис. 179. Панель для відображення статистики подій у моделі.

Інструментальні кнопки на рис.180 мають наступну функціональність:

– для кожного регіону (місту, кварталу, тощо) виділеному на карті, побудувати діаграму по кількості подій визначених у запиті;

– відображати (і використовувати) запит, побудований за встановленими значеннями класифікатора подій;

– відображати інформацію на діаграмі, яка містить статистику;

– режим відображення діаграми – відсотки або значення;

– горизонтальний або вертикальний режим відображення діаграми.

Натиснемо першу інструментальну кнопку для побудови діаграм. Для кожного кварталу міста відобразіться статистика подій (рис. 181).

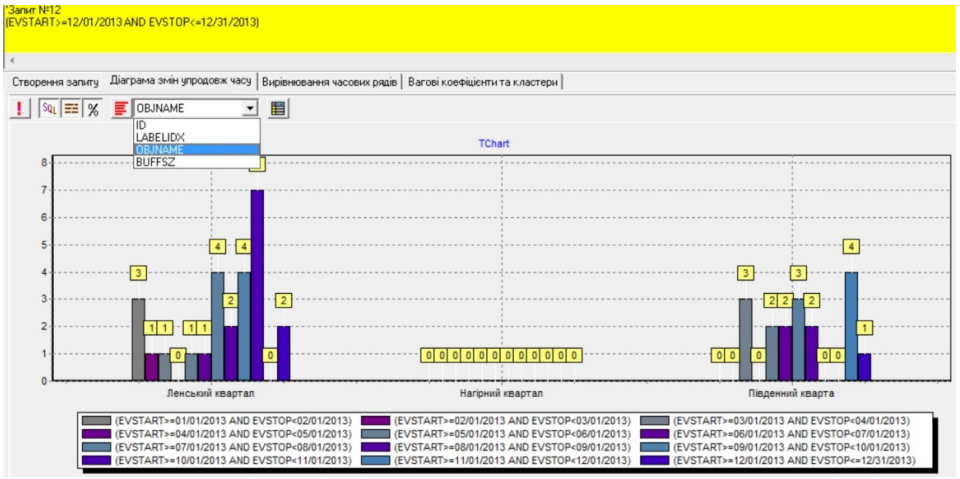


Рис. 181. Статистика подій у вигляді діаграм для трьох кварталів міста.

Кожна з трьох діаграм на рис. 50 відображає загальну статистику подій упродовж 2013 року для окремого кварталу міста. Події виділені на карті у відповідності до вибраних опцій класифікатора. В свою чергу, кожен стовпчик певної діаграми послідовно, місяць за місяцем відображає кількість подій. Можна відмітити, що для кварталу із назвою “Нагірний” події, тип яких визначений у класифікаторі взагалі відсутні. Але, якщо встановити інші значення для типу, соціального складу учасників і тактики їх дій, то вигляд діаграм і статистика матимуть інший вигляд.

Ще одне зауваження. Кожна діаграма підписується за допомогою назви кварталу, яка зберігається у атрибуті із ім’ям “OBJNAME”. Зміст підписів можна змінити, якщо у списку атрибутів для кварталів міста вибрати іншу назву. Наприклад, робити підписи не за назвою кварталів, а за значенням їх індексу “ID” в атрибутивній таблиці шару. Ця ситуація також показана на рис. 181.

Таким чином, будуючи різноманітні запити, можна відстежувати статистику для певних регіонів та міст країни. Оперуючи реально зібраними даними, за допомогою інструментів моделі можливо здійснювати прогноз розвитку ситуацій і порівнювати стан регіонів. Але, для більш детального прогнозування, слід застосувати додатковий математичній апарат який має назву “часові ряди”.

РОБОТА ІЗ ЧАСОВИМИ РЯДАМИ У МОДЕЛІ “АНАЛІТИКА”.

У моделі мається можливість більш розширеної роботи із часовою складовою запитів у вигляді, так званих, часових рядів. Називатиме часовим рядом (*time series*) низку числових даних які отримано на протязі послідовних періодів часу [367]. Зробимо припущення що за допомогою методів аналізу числових рядів складених на основі статистики чисельності для протестних подій у регіонах України у минулому, можна зробити виводи щодо прогнозу кількості таких

подій у майбутньому. Для цього слід надати часовий ряд як добуток значень кількох компонентів у термінах класичної мультиплікативної моделі:

$$Y_i = T_i \times C_i \times I_i, \tag{9}$$

де T_i – значення тренду, який описує довготривале, стійке зростання або убування даних;

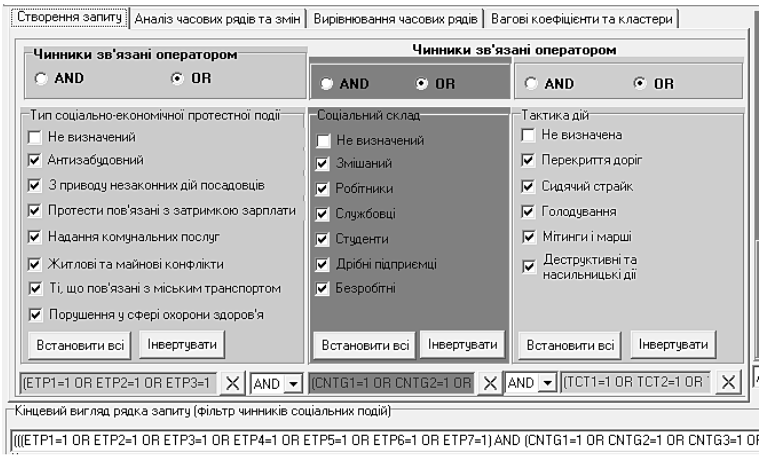
C_i – значення циклічного компоненту часового ряду, на значення якого впливають інші, неявні, циклічні фактори;

I_i – значення випадкового компоненту часового ряду.

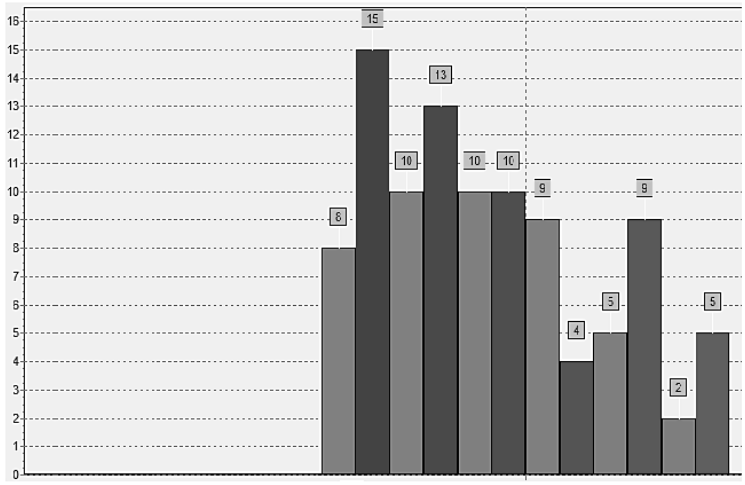
Така модель є коректною у тому випадку, коли збирання даних виконується з кроком інтервалу у один календарний рік. Якщо ж статистика більш детальніша (щомісячна, щоквартальна) і поширюється на більш довготривалий термін, у мультиплікативну модель слід додати ще одну складову – сезонну компоненту S_i. Тоді, формула (9) буде мати вигляд:

$$Y_i = T_i \times S_i \times C_i \times I_i. \tag{10}$$

Об’єктом дослідження у моделі “Аналітика” для часового ряду стає кількість подій із тім чи іншим складом ознак, зібраних протягом певного часу та нанесених на електронну карту у визначених регіонах України. Ознаки події встановлюється як масив бінарних атрибутів для трьох розділів класифікатору – типу події, соціального складу учасників та тактики їх дій. На рис. 51 показано таке налаштування електронного класифікатору колі під аналіз підпадають майже усі події існуючих типів, з будь яким складом учасників та тактикою дій, які малі місце протягом одного з 12 місяців певного року.



а



б

Рис. 182. Усі події вибрані для аналізу у моделі:

а – параметри класифікатора; ***б*** – статистика кількості подій у вигляді стовпчикової діаграми побудованої для кожного з 12 місяців певного року.

Фактично, стовпчикова діаграма на рис. 182 задає часовий ряд для подій на інтервалі, довжина якого дорівнюється 1 рік, а крок побудови – один календарний місяць. Виняток у цьому прикладі – події для котрих хоча б одне із значень встановлене як “Не визначене”. Таки події не враховуються під час виконання SQL-запиту та побудови часового ряду.

У іншому прикладі, на рис. 183 аналізуються тільки ті події учасниками котрих були студенти. Стовпчикова діаграма що відповідає часовому ряду у цьому контексті має зовсім інший вигляд.

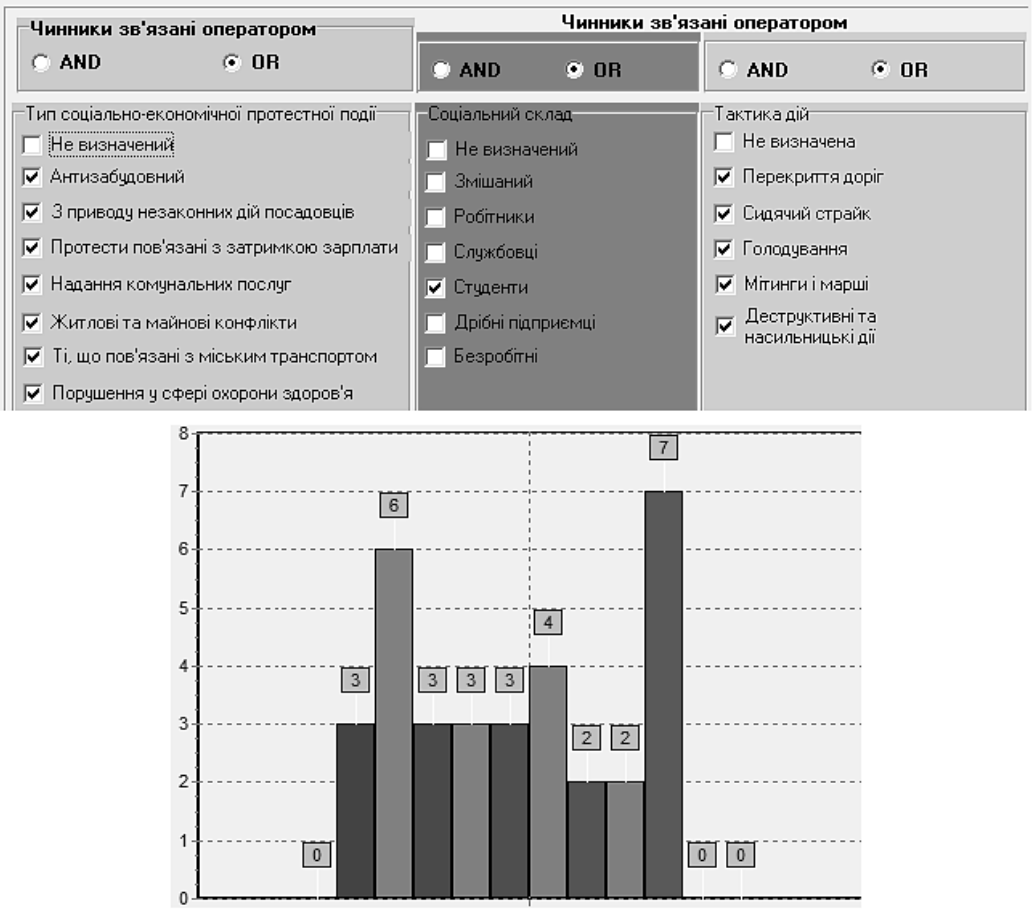


Рис. 183. Згідно налаштуванню класифікатора, аналізу підлягають лише події, учасниками яких були студенти.

Таким чином, статистика для часового ряду формується за допомогою класифікатора та розраховується за критерієм який складається у вигляді рядка SQL-запиту. Елементами цього запиту є назви бінарних атрибутів та їх значення для події у реляційній таблиці векторного шару (“scm_stat”, у нашому прикладі), структура якого відповідає моделі “Аналітика”.

СТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЧАСОВОГО РЯДУ У ЗАПИТАХ МОДЕЛІ

Для побудови часового ряду необхідно виконати вибірку даних протягом певного часу та визначити інтервал збирання подій. У нашому випадку таким інтервалом може бути статистика протестних подій, яка зібрана щомісячно на протязі певного року. Виникає питання, – у якому вигляді в SQL-запиті

сформувати такі щомісячні інтервали? Для цього у головному вікні моделі “Аналітика” існує низка інструментальних кнопок (рис. 184).

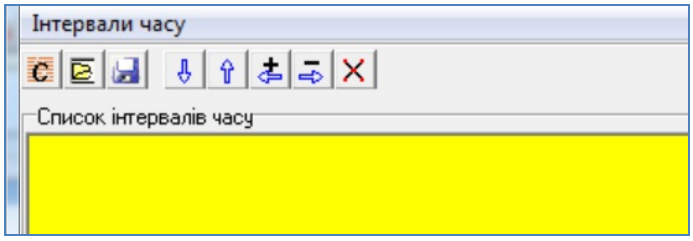


Рис. 184. Набір інструментів для побудови інтервалів часу.

Інструментальні кнопки на рис.184 мають відповідну функціональність:

– створення текстового файлу з інтервалами часу, як фрагменту SQL-запиту;

– завантаження текстового файлу з інтервалами часу на панель зі списком інтервалів часу;

– збереження відредагованого текстового файлу з інтервалами часу;

– переміщення на один рядок донизу інтервалу часу, виділеного у списку;

– переміщення на один рядок доверху інтервалу часу, виділеного у списку;

– додавання у список інтервалів рядка, створеного у панелі календаря (див. рис. 174-176);

– видалення поточного рядку зі списку інтервалів часу;

– видалення всіх рядків зі списку інтервалів часу.

Після натискання першої з цих кнопок, яка реалізує створення текстового файлу з інтервалами часу, буде відчинене діалогове вікно для автоматичного створення текстового фрагменту з інтервалами часу. Параметрами створення є:

– загальна тривалість (1, 2 чи 3 роки) всіх часових інтервалів в запиті;

– крок кожного інтервалу (місяць, квартал, півріччя);

– рік, з якого починається перший інтервал;

– місяць, з якого починається перший інтервал;

– назва та каталог текстового файлу, що створюється (рис. 185).

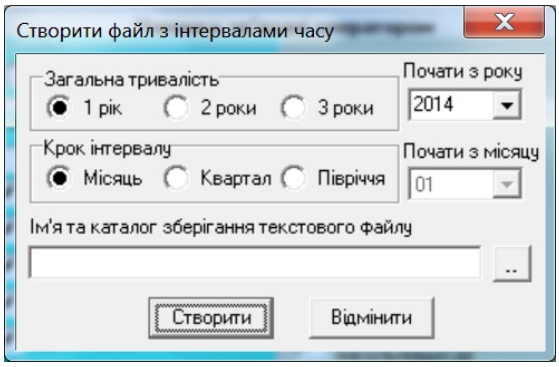


Рис. 185. Параметри створення файлу з інтервалами часу.

На рис. 186 показаний текстовий файл, який був автоматично сформований для часового ряду із щомісячним кроком, починаючи з 01.01.2014 р.

```
'Запит №1
(EVSTART>=01/01/2014 AND EVSTOP<02/01/2014)
'Запит №2
(EVSTART>=02/01/2014 AND EVSTOP<03/01/2014)
'Запит №3
(EVSTART>=03/01/2014 AND EVSTOP<04/01/2014)
'Запит №4
(EVSTART>=04/01/2014 AND EVSTOP<05/01/2014)
'Запит №5
(EVSTART>=05/01/2014 AND EVSTOP<06/01/2014)
'Запит №6
(EVSTART>=06/01/2014 AND EVSTOP<07/01/2014)
'Запит №7
(EVSTART>=07/01/2014 AND EVSTOP<08/01/2014)
'Запит №8
(EVSTART>=08/01/2014 AND EVSTOP<09/01/2014)
'Запит №9
(EVSTART>=09/01/2014 AND EVSTOP<10/01/2014)
'Запит №10
(EVSTART>=10/01/2014 AND EVSTOP<11/01/2014)
'Запит №11
(EVSTART>=11/01/2014 AND EVSTOP<12/01/2014)
'Запит №12
(EVSTART>=12/01/2014 AND EVSTOP<=12/31/2014)
```

Рис. 186. Фрагмент запиту із інтервалами часу, сформований у програмі.

Тепер ми маємо всі необхідні дані, для того, щоб розпочати роботу із часовими рядами у моделі “Аналітика”. Але, виникає важливе питання – чи маємо ми право без попереднього аналізу поєднувати такі різнорідні по своєї сутності (хоча і бінарні по формату надання) дані у єдиному SQL-запиті? Може так статися, що для певних регіонів, згідно зібраної статистики, значення деяких атрибутів будуть залежними від значень інших атрибутів. Наприклад, аналіз статистичних даних може розкрити той факт, що у деякому регіоні “А” в силу

певних, не виявлених обставин, протести з приводу надання комунальних послуг (ознака ETP4 для події згідно класифікатору) майже завжди супроводжуються перекриттям доріг (ознака TCT1 для події у класифікаторі). Тобто, існує кореляція у часі між двома параметрами. Тому перш ніж формувати у остаточному вигляді SQL-запити результати яких буде використано при побудові часових рядів, доцільно провести хоча б візуальну перевірку вихідних даних на кореляцію за допомогою елементарних діаграм розкиду (рис. 187).

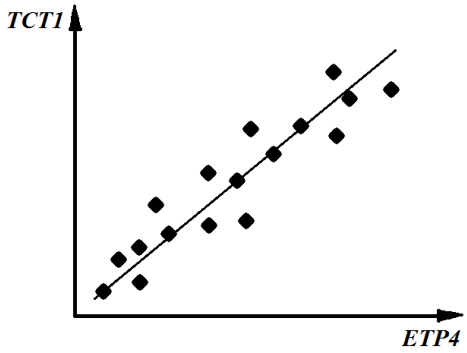


Рис. 187. Статистика яка була зібрана протягом часу для деякого регіону демонструє позитивну кореляцію між параметрами ETP4 та TCT1.

Наведемо ще один приклад необхідності попереднього аналізу вихідних даних. Припустимо що для іншого гіпотетичного регіону “Б”, події з ознакою “Житлові та майнові конфлікти” мають тенденцію створювати на карті стійкі кластери. У цьому випадку говорять про автокореляцію геопросторових даних. Більш детально з питаннями попереднього аналізу даних на наявність кореляції або автокореляції можна ознайомитися у [2, 7]

ЗГЛАДЖУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ У МОДЕЛІ “АНАЛІТИКА”.

На рис. 182 у вигляді стовпчикової діаграми показано умовні дані, які було зібрано у деякому регіоні (місті, кварталі) на протязі 2013 року. Аналізуючи діаграму, досить важко зробити висновок про те, як змінюються дані – зростають чи зменшуються. Для того, щоб дослідити тенденцію на змінювання,

застосовують технологію згладжування первинних даних зібраних на протязі послідовних часових інтервалів. У моделі “Аналітика” реалізовано два таких метода вирівнювання – за методом ковзних середніх та за методом експоненціального згладжування. Стисло розглянемо їх особливості. Для цього прикладу використаємо таки ж самі налаштування класифікатора, які показані на рис. 178. У головному вікні моделі перейдемо на панель із назвою “Вирівнювання часових рядів”.

Після побудови діаграм по вибраних регіонах карти, на панелі “Вирівнювання часових рядів” стає доступна кнопка “Перерахувати параметри вирівнювання”. Натиснувши її відкриємо вікно параметрів згладжування часового ряду (рис. 188).

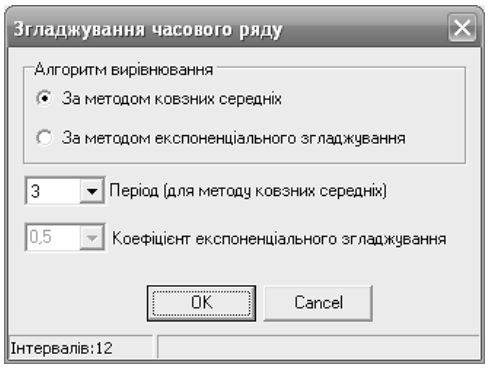


Рис. 188. Вибір методу та параметрів згладжування часового ряду.

Якщо вибрано алгоритм вирівнювання за методом ковзних середніх то користувачеві пропонується вибрати параметр L – період згладжування. Для того щоб пояснити його призначення розглянемо дані, що були нанесені на діаграму (див. рис. 181) у табличному вигляді (рис. 189), у такому форматі, який реалізований у моделі “Аналітика”.

№	Інтервал	Групування	Значення
5	(EVSTART>=05/01/2013 AN	Ленський ке	1
6	(EVSTART>=06/01/2013 AN	Ленський ке	1
7	(EVSTART>=07/01/2013 AN	Ленський ке	4
8	(EVSTART>=08/01/2013 AN	Ленський ке	2
9	(EVSTART>=09/01/2013 AN	Ленський ке	4
10	(EVSTART>=10/01/2013 AN	Ленський ке	7
11	(EVSTART>=11/01/2013 AN	Ленський ке	0
12	(EVSTART>=12/01/2013 AN	Ленський ке	2
1	(EVSTART>=01/01/2013 AN	Нагірний кв	0
2	(EVSTART>=02/01/2013 AN	Нагірний кв	0
3	(EVSTART>=03/01/2013 AN	Нагірний кв	0

Рис. 189. Фрагмент зібраних даних у табличному вигляді.

У першому стовпчику цієї таблиці визначається номер часового інтервалу для котрого було зібрано статистику. Усього таких інтервалів 12, оскільки дані збирали на протязі року. У другому стовпчику кожен інтервал надано у вигляді SQL-запиту, що здійснюється до реляційної таблиці у якій зберігаються дані по подіях в моделі “Аналітика”. У кожному рядку послідовно, від першого по дванадцятий місяць, формується відповідний запит на отримання по певному регіону сумарної кількості подій, властивості яких визначені у класифікаторі. Назви регіонів карти для котрих виконується операція показано у третьому стовпчику таблиці. Кількість подій, вибраних згідно запиту, для кожного місяцю вказано у четвертому стовпчику. Саме дані про цю кількість і надані понад кожним стовпчиком діаграми на рис. 181.

Останній стовпець ще не заповнений – в ньому зберігатимуся дані по згладжуванню діаграми. Припустимо, що кожна згладжена точка у цьому стовпці отримується як середньоарифметичне значення кількості подій за 3 місяця – попередній, поточній та наступній. Тоді вищезазначений період згладжування L дорівнюється трьом місяцям. Нове значення, наприклад для другого місяця буде розраховано як:

$$N(L)_2 = \frac{Y_1+Y_2+Y_3}{L}, \qquad (11)$$

де $N(L)_2$ – згладжене значення кількості подій для другого місяця,

Y_1, Y_2, Y_3 – вихідні (не згладжені) значення кількості подій для першого, другого та третього місяців,

L – період згладжування даних, який встановлено в 3 місяця.

В розрахунку координати на графіку для згладженої точки третього місяця буде використано вихідні дані другого, третього та четвертого місяців і так далі для кожного *i*-го місяця у таблиці рис 58:

$$N(L)_i = \frac{Y_{i-1}+Y_i+Y_{i+1}}{L}. \quad (12)$$

За такою методикою розрахунку, при виборі L=3 буде неможливо отримати згладжені дані для першого та останнього місяців. Для першого з них у таблиці не існує попереднього значення а для другого – наступного. У будь якому випадку період L повинен бути непарним.

Якщо ж встановити період згладжування L=5 то формула (12) приймає наступний вигляд:

$$N(L)_i = \frac{Y_{i-2}+Y_{i-1}+Y_i+Y_{i+1}+Y_{i+2}}{L}. \quad (13)$$

Тоді в розрахунках будуть відсутні згладжені дані для першого, другого, одинадцятого та дванадцятого місяців. При наступному збільшені періоду L буде втрачено ще більше точок. Саме тому не рекомендують вибирати L більш ніж 7 навіть під час аналізу даних за тривалий термін (більше одного року). На рис. 59 показані вихідні дані та результати згладжування при виборі L=3.

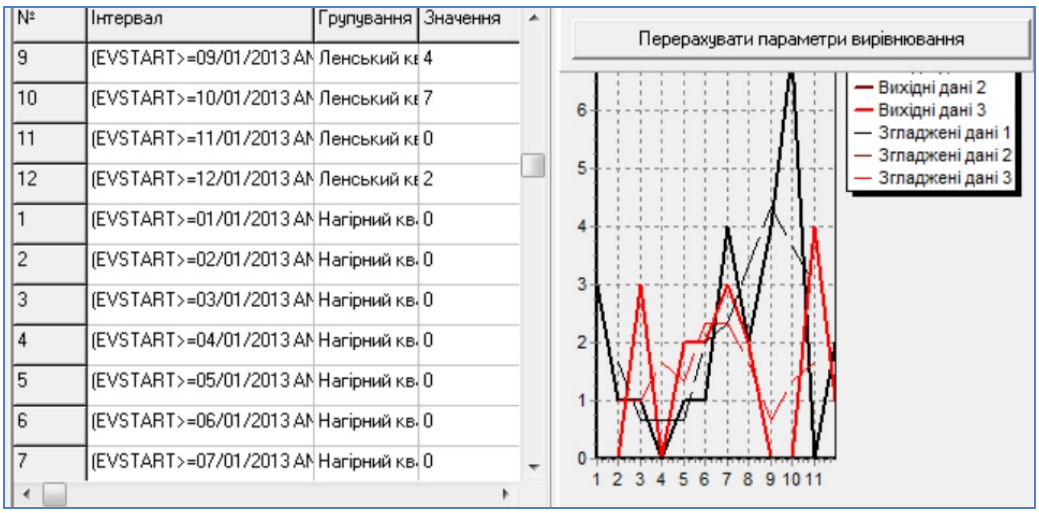


Рис. 190. Згладжування у моделі за методом ковзних середніх при виборі періоду L=3 (пунктирною лінією показані згладжені дані).

Графіки для кварталу за назвою “Нагірний” на рис. 190 відсутні, тому, що для цього кварталу не вибрано жодної події. Для того, щоб більш детальніше уяснити, яка різниця між згладжуваннями із різними періодами, розглянемо деякі дані для яких період згладжування дорівнюється L=3 та L=5 (рис. 191).

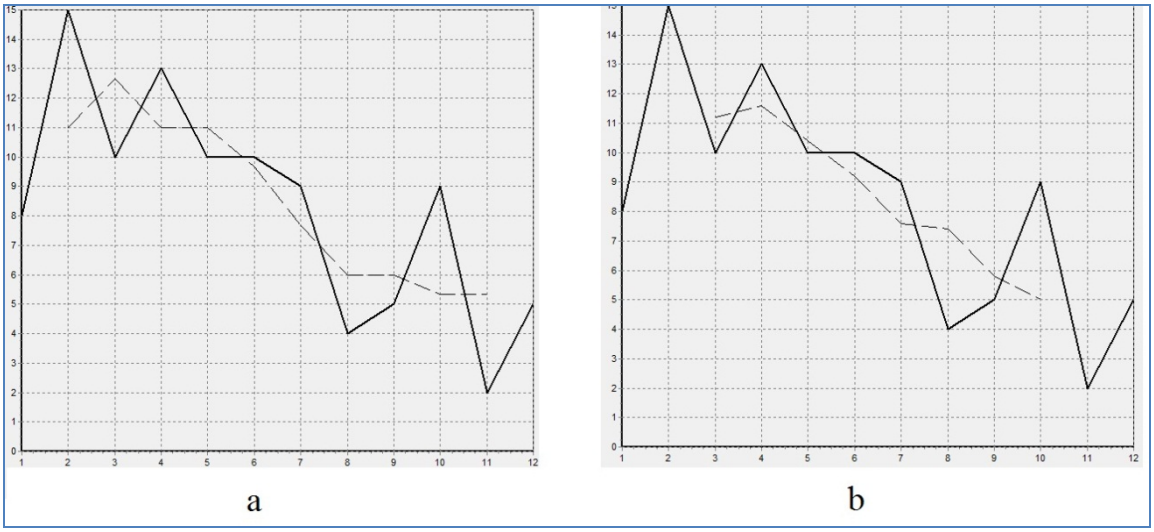


Рис. 191. Згладжування у моделі “Аналітика” за методом ковзних середніх із різним періодом L: (***а***) – L=3; (***б***) – L=5.

Аналізуючи рис. 191 можна зробити висновок, що чім більший період L вибирається для згладжування часового ряду тім більш плавний графік буде отримано у результаті. Тому, застосовуючи метод ковзних середніх для

обробки даних моделі “Аналитика”, треба обирати період L виходячи з розумного компромісу між плавністю лінії згладжених даних та відсутністю точок у початку та наприкінці таблиці. Крім того, найбільш ефективно цей метод може застосовуватися тільки коли аналізуються дані які зібрані за довготривалий термін (два ріка або більше). Якщо ж термін складає один рік то застосування методу ковзного середнього для згладжування таких даних не є ефективним, саме по причині відсутності кількох точок у початку та кінці графіку.

Щоб подолати таки недоліки у моделі “Аналітика” реалізовано альтернативний підхід обробки вихідних точок часового ряду за методом експоненціального згладжування (exponential smoothing). У цьому методі [6] кожне наступне значення в таблиці згладжених точок часового ряду залежить від усіх попередніх значень і всі без винятку точки використовуються у моделі (пропуску даних у початку та кінці графіку немає). Для будь якого вузла на графіку згладжене значення E_i можна отримати наступним чином:

$$E_i = WY_i + (1 - W)E_{i-1}, \tag{14}$$

де i = 2,3,3,…– послідовний номер вузла починаючи з другого,

E_{i-1} – згладжене значення розраховане для попереднього вузла,

Y_i – вихідне (виміряне, не згладжене) значення у i-му вузлі,

W – ваговий коефіцієнт, який довільно вибирається з інтервалу $0<W<1$.

Для першого вузла згладжене значення дорівнюється вихідному (не згладженому) значенню у тому ж вузлу. Таким чином жодна точка не буде втрачена на протязі всього інтервалу.

Експоненціальне згладжування даних стає доступним у моделі “Аналітика” якщо у вікні параметрів згладжування часового ряду вибрати відповідний пункт. У тому ж вікні користувач може вибрати у списку одне з фіксованих значень вагового коефіцієнту W або ввести своє значення (рис. 192).

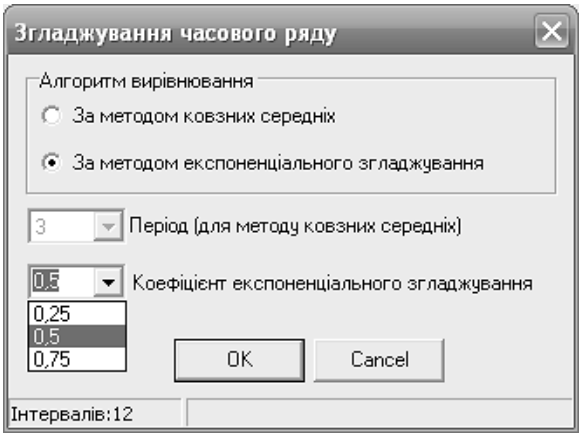


Рис. 192. Вибір параметрів експоненціального згладжування.

Чім ближче значення *W* до 1 тим більш згладженим буде результуючий графік. Але слід контролювати, щоб після такого згладжування на графіку не були втрачені важливі сезоні або циклічні зміни. Для порівняння із методом ковзних середніх, дані що надано на рис. 191 обробимо за допомогою експоненціального згладжування з *W*=0.25 (рис. 193).

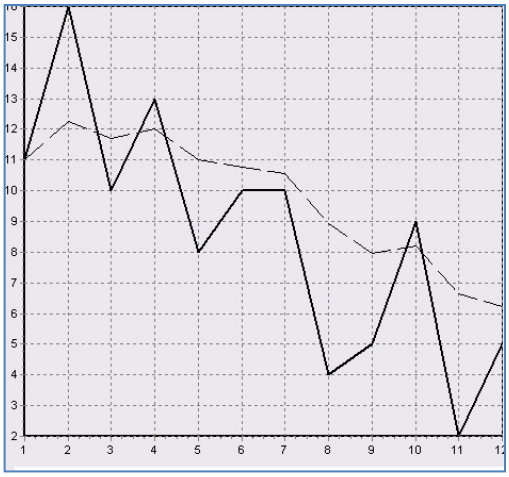


Рис. 193. Експоненціальне згладжування даних у моделі “Аналітика”.

Слід зазначити що метод експоненціального згладжування може бути використаний навіть для короткотермінових прогнозів (у межах одного періоду). Якщо на графіку чітко проглядається тенденція до зміни у згладженому часовому ряду, то дані розраховані та зведені у таблицю моделі під час експоненціального згладжування можуть бути застосовані для прогнозу.

СТВОРЕННЯ КЛАСТЕРІВ ПОДІЙ ДЛЯ МОДЕЛІ “АНАЛІТИКА”.

Будуючи часові ряди для протестних подій у різних регіонах країни, та згладжуючи ці ряди за допомогою наведених методик, аналітик отримує потужний інструментів для прогнозування розвитку ситуації. Необхідно, також, мати можливість згрупувати події за їх атрибутами, для того, щоб мати чітку картину розподілу протестів по території всієї країни. Можна для цього скористатися загальними інструментами кластеризації, які описані у самому початку теми. Але, більш зручніше виконувати таку кластеризацію подій за допомогою вбудованих інструментів моделі “Аналітика”.

Здійснюємо у головному вікні моделі “Аналітика” перемикання на панель із назвою “Вагові коефіцієнти та кластери”, на якій знаходяться всі необхідні інструменти кластеризації подій (рис. 194).

Рис. 194. Панель кластеризації подій.

На перший погляд, ця панель мало чім відрізняється від панелі класифікатора подій. Але, поруч з назвою кожного атрибуту події знаходиться спеціальне поле вводу для вагового коефіцієнту цього атрибуту. Для роботи із ваговими коефіцієнтами на панелі присутні три кнопки, які, відповідно, мають наступну функціональність:

– оновити значення всіх вагових коефіцієнтів, завантажуючи їх з відповідної реляційної таблиці класифікатора у моделі;

– встановити для всіх чинників однакове значення вагового коефіцієнту і зберегти встановлені значення у відповідній реляційній таблиці класифікатора;

– після редагування значень вагових коефіцієнтів у відповідних полях вводу, зберегти їх значення у реляційній таблиці класифікатору.

Наприклад, на рис.194 показано, що для всіх чинників встановлені вагові коефіцієнти, значення яких дорівнюється 1. Виключення складають два чинника, які відносяться до тактики дій. Для чинників “Перекриття доріг” та “Сидячий страйк” вагові коефіцієнти встановлені у значення 0.85.

Набір інструментів для кластеризації на панелі “Вагові коефіцієнти та кластери” цілком ідентичний кнопкам показаним на рис. 144. Наведемо зображення цих інструментів (рис. 195) та опишемо їх функціональність.

Рис. 195. Інструменти кластеризації моделі “Аналітика”.

На рис. 195 показані:

– текстове поле для відображення назви групи, яка містить створені кластери;

– інструментальна кнопка для управління процесами створення, видалення та вибору груп кластерів;

– інструментальна кнопка для налаштування набору атрибутів кластеризації в групі, яка вибрана;

– інструментальна кнопка початку виконання кластеризації;

– інструментальна кнопка відображення списку створених кластерів та об’єктів, які належать створеним кластерам.

Методика роботи, під час виконання та відображення результатів кластеризації, цілком співпадає із послідовністю дій, описаних у попередніх розділах. Користувач може виконувати групування об’єктів за методом k-середніх або створювати та використовувати шаблони.

Важливе зауваження – кластеризація об’єктів в моделі “Аналітика” виконується не в межах виділених регіонів, міст або кварталів (див. розділ “Масштабування моделі за даними карти”), а для всіх подій нанесених на карту. Щоб запобігти такої ситуації, можливо скористатися технологією просторових запитів, реалізованою в ГІС “Інструмент”. Для цього слід по-перше виділити на карті необхідні регіоні (міста або квартали). По-друге виконати просторовий запит, виділяючи на карті події, які знаходяться в середині вибраних регіонів (міст, кварталів). І на сам кінець, виконати кластеризацію, встановлюючи алгоритм її дії не для всіх об’єктів а тільки для тих, що виділені.

Таким чином, здійснюючи кластеризацію, аналітик може групувати на карті події, висвітлюючи різні аспекти соціально економічного стану країни. Додаткове підключення механізмів роботи із часовими рядами, дозволяє робити прогноз.

Ще одне уточнення – на протязі всієї теми ми говорили про розрахунок центрів кластерів у багатовимірному просторі координат. Розглянемо більш просте питання. У двовимірній площині карти розташування кожного об’єкту, який належить певному кластеру, може бути описано за допомогою двох координат. Якщо карта знаходиться у географічній проекції, такими координатами є широта та довгота. Якщо в ГІС “Інструмент” карта трансформована у проекцію СК-1942, то координати лінійні (X, Y). Як по відомим координатам кожного об’єкта в групі розрахувати на карті координати для центра кластера, якій створений по цих об’єктах?

В цьому питанні мова йде про координати центрів що визначаються парою значень (X, Y) на площині. Тому, для розрахунку координат центру такого кластера розглядатиме k об’єктів, що створюють кластер, як матеріальні точки із одиничними масами m_i. Сумарна маса M всіх об’єктів визначається як $\sum_{i=0}^{k} m_i$. Тоді [369] шукатиме координати (X_c, Y_c) центру кластера у вигляді центру мас точкових матеріальних об’єктів на площині:

$$\left.\begin{aligned} X_c &= \frac{\sum x_i m_i}{M} \\ Y_c &= \frac{\sum y_i m_i}{M} \end{aligned}\right\}. \qquad (15)$$

Ці розрахунки коректні, якщо об’єкти, які створюють кластер, є точковими. У випадку групування лінійних об’єктів ГІС розраховує координати центру прямокутника, якій обмежує кожен такий лінійний об’єкт і використовує їх як координати об’єктів. Такий прямокутник має назву “екстент” (extent, рис. 196).

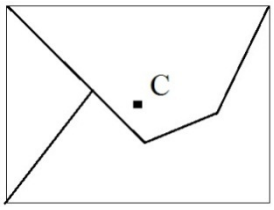


Рис. 196. Прямокутник, який обмежує лінійний об’єкт, визначається як “екстент” лінії. Центр цього прямокутника (точка С) стає центром лінійного об’єкту.

У випадку полігональних об’єктів, ГІС “Інструмент” розраховує не координати центру прямокутного “екстенту”, а координати центроїда кожного полігонального об’єкту. В даному випадку під центроїдом розуміється геометричний центр полігональної фігури на площині карти, який є середньою арифметичною позицією усіх вузлів, які створюють полігон (рис. 197)

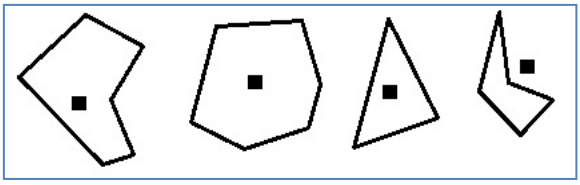


Рис. 198. Умовно розраховані центроїди для деяких форм полігонів. Іноді центроїд може знаходитися поза межами багатокутника.

В ГІС існують спеціальні алгоритми для розрахунку координат центроїді полігональних об’єктів. Тому користувачеві не треба здійснювати такі розрахунки у ручному режимі.

Остання тема, яка стосується роботі з моделлю присвячена збору даних і нанесенні подій на карту.

НАНЕСЕННЯ НА КАРТУ ПОДІЙ В МОДЕЛІ “АНАЛІТИКА”.

Зі збирання даних, що стосуються протестної активності, та нанесення їх на карту розпочинається праця аналітика. Чому ж цій розділ є останнім у даній темі? Автори вважають, що було б доцільніше спочатку вивчити всі аспекти обробки даних, і тільки після цього, свідомо, із розумінням збирати і наносити їх на карту, виконуючи інформаційне наповнення моделі.

У програмі реалізовано два метода вводу даних моделі. Перший з них слід застосовувати при роботі із великомасштабними та середньомасштабними картам з точною, координатною прив’язкою подій до міста їх розташування. Нагадаємо, що подія у моделі “Аналітика” розглядається як точковий об’єкт на карті визначеного регіону. Тому й створюється така подія саме так як звичайний точковий об’єкт у редакторі шарів ГІС “Інструмент”.

Послідовність створення за першим методом містить наступні кроки:

– відобразити панель інструментів “Створення та редагування шарів” виконавши пункт меню програми “Вигляд – Панелі інструментів – Створення виділення і редагування шарів. Буферні зони”;

– завантажити необхідну карту, виділити у списку шарів ГІС назву шару із структурою моделі “Аналітика” (scm_stat у нашому прикладі) та встановити перемикач “Моделі – Аналітика та Соціум” у головному меню програми;

– вибрати на карті місце розташування нової події змінюючи при необхідності масштаб відображення та переміщуючи аркуш карти у вікні програми;

– на інструментальній панелі “Створення виділення і редагування шарів” увімкнути режим редагування точкового шару натиснув кнопку “Додати об'єкти в поточний шар” (рис. 67);

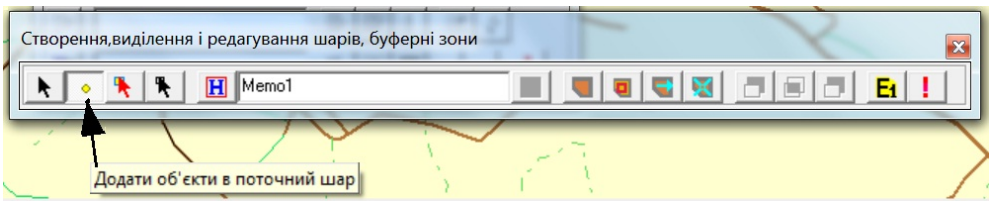


Рис. 198. Встановлюємо режим редагування шару і додавання нових об’єктів.

– позиціонувати курсор у місто розташування нової події та натиснути ліву клавішу миші, після чого буде відчинене вікно класифікатора (рис. 199);

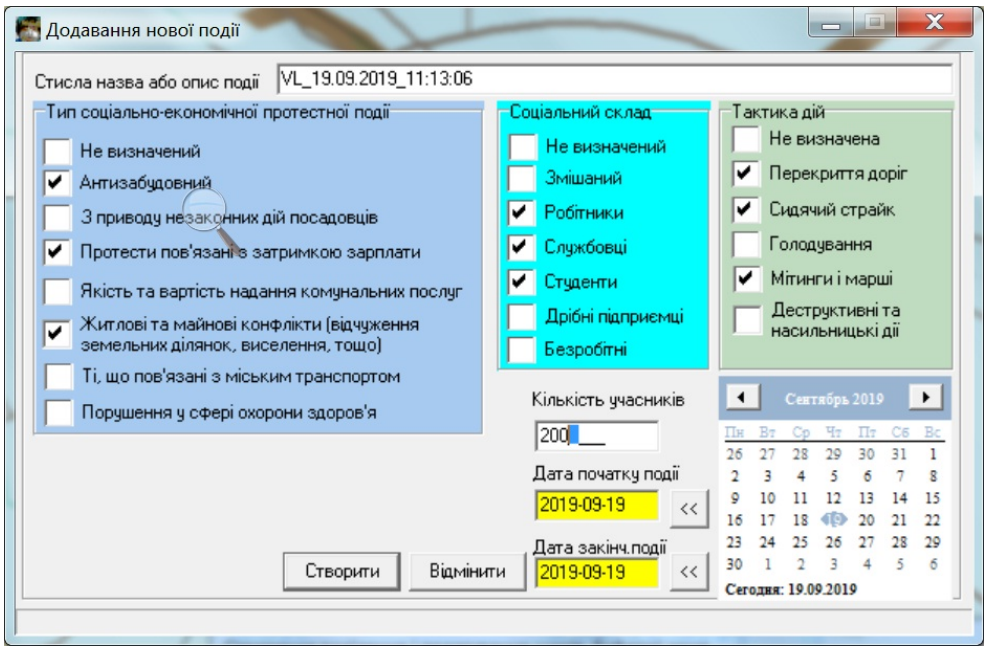


Рис. 199. Вікно класифікатора відчиняється при додаванні подій на карту.

– у вікні класифікатора встановити всі необхідні чинники для події, яка має бути нанесена на карту (у тому числі і кількість учасників, якщо вона відома);

– натиснути кнопку “Створити”, після чого вікно класифікатора зачиняється а на карті з’являється умовна позначка події, що створюється із атрибутами, встановленими згідно класифікатора;

– якщо потрібно додати ще одну подію, знову виберіть на карті місце її розташування, натисніть ліву клавішу миші і встановіть необхідні атрибути класифікатора;

– після закінчення введення подій, на панелі “ Створення виділення і редагування шарів” натисніть першу кнопку “Завершити редагування

поточного шару” (див рис. 198) і у діалоговому вікні підтвердження створення нових об’єктів натисніть кнопку “YES” (рис. 200).

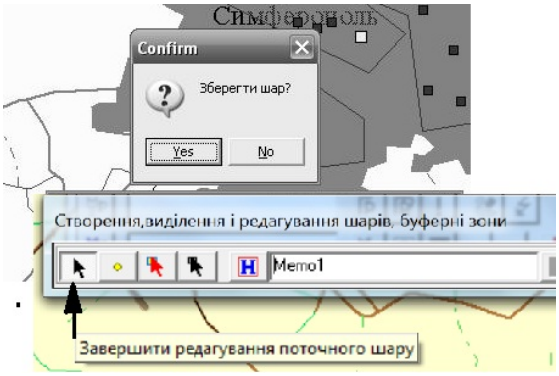


Рис. 200. Закінчуємо редагування шару з новими подіями.

Додавання подій на карту завершене. Коментарів у цьому методі потрібують тільки два параметрі вводу. Дату початку та закінчення події визначають подвійним натисканням лівої клавіші миші на панелі календаря вбудованого у вікно класифікатора. Уручну здійснювати введення цих параметрів недоцільно оскільки вони визначаються у специфічному внутрішньому форматі бази даних. Також, по можливості, у вікні класифікатора доцільно ввести стислий опис або назву події – цей атрибут інтенсивно використовується у відображенні даних в блоку статистики.

Інший метод створення даних для моделі більш придатний у тому випадку, коли координати події не потрібно визначати із певною точністю (дрібномасштабні карти), або взагалі подія виникла скажімо десь у Харкові, без додаткового уточнення координат місця. Для цього треба по-перше визначити той об’єкт карти до якого буде здійснюватися прив’язка подій що створюються. Розглянемо знову фрагмент карти, на якій відображено деяке місто та присутній шар міських кварталів (див. рис. 36). Припустимо що збір даних здійснюється для одного з трьох кварталів, який має назву “Південний квартал” та індекс ID=8. Виділімо цей район на карті за допомогою інструменті побудови запитів ГІС. Для цього:

– виділимо у списку шарів ГІС шар із назвою “Квартали” та відобразимо панель побудови запитів вибрав у головному меню пункт “Шар – Побудовник SQL-виразів для вибору об'єктів” (рис. 201);

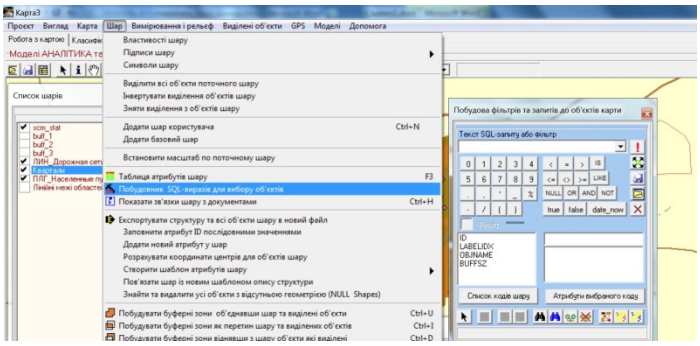


Рис. 201. Інструмент для побудови SQL-запитів.

– на панелі запитів виберемо у списку атрибутів поле із назвою “OBJNAME” та натиснемо кнопку “Атрибути вибраного коду”;

– у списку, що з’являється, містяться значення вибраного атрибуту, серед яких виділяємо значення “Південний квартал” та здійснимо виклик контекстного меню “Знайти на карті перший об'єкт зі вказаним атрибутом”.

Об'єкт “Південний квартал ” буде виділений на карті (рис. 202).

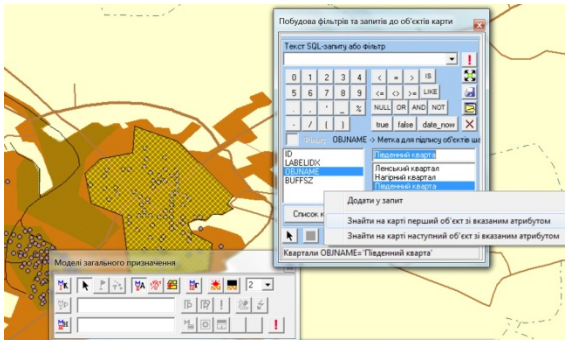


Рис. 202. Будуємо запит для вибору Південного кварталу.

Далі слід завантажити модель “Аналітика” виділивши у списку шар із відповідною структурою (scm_stat у нашому випадку) та встановити перемикач “Моделі – Аналітика та Соціум” у головному меню ГІС. Буде завантажена панель інструментів для моделей загального призначення, яка містить кнопки управління моделлю “Аналітика”. Натискаємо кнопку із назвою “Додати на

карту подію у межах об'єкту, що за допомогою інструмента побудови SQL-виразів” (рис. 203)

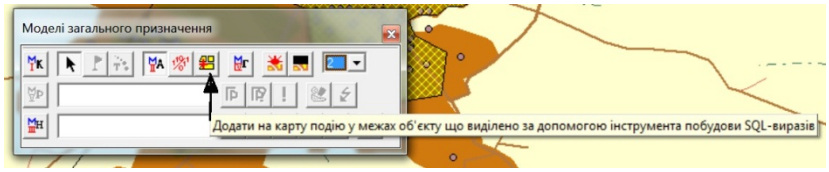


Рис. 203. Вмикаємо режим автоматичного розташування подій на карті.

Вікно класифікатора буде відчинене. Тепер не потрібно кожен раз вказувати на карті місце розташування події що створюється. На панелі класифікатора присутня нова кнопка із назвою “Додати”. Встановлюючи необхідні чинники для події що формується та натискаючи цю кнопку, ми створюємо точковий об’єкт та автоматично розміщуємо його на карті із прив’язкою до центроїду виділеного полігону кварталу “Південний” (рис. 204).

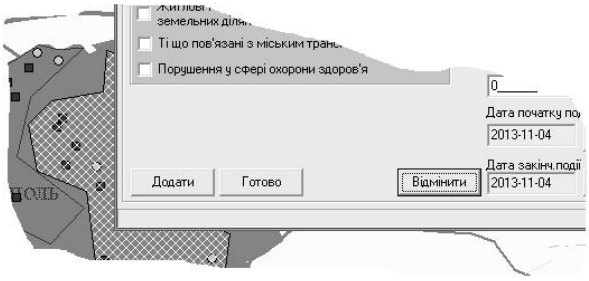


Рис. 204. Зміна інтерфейсу введення даних у вікні класифікатора.

Вікно класифікатора не буде закрито після здійснення цієї операції, тому користувач може продовжувати введення подій. Така технологія суттєво збільшує швидкість вводу даних у випадку обробки великих обсягів інформації, але точність визначення подій обмежена картами дрібних масштабів. Окрім цього слід відзначити, що незалежно від того перший чи другий метод було обрано для нанесення подій моделі “Аналітика” на карту, результатом цієї операції буде додавання у шар scm_stat певної кількості точкових об’єктів.

16.2 Specialized food bags for enteral food

Забезпечення населення високоякісним, адекватно відображаючи потреби організму харчуванням є одним із актуальних завдань сучасної нутриціології. Особливе значення при цьому набувають питання створення і практичної реалізації технології лікувальних продуктів. У зв'язку з виникненням у травматологічних і хірургічних хворих значних змін різних ланок метаболізму і необхідністю стимулювання відновних процесів, то головним завданням нутрицтивної в цих умовах є корекція порушень мінерального, білкового обміну і вітамінної забезпеченості організму. Така підтримка може бути досягнута застосуванням спеціально розроблених для цих цілей харчових продуктів підвищеної біологічної цінності.

За 10-15 днів перебування в стаціонарі до 50-60% пацієнтів, особливо ті, що перенесли операційне втручання або травму, втрачають в середньому 10-15 % маси тіла. Вимушене голодування пацієнтів в умовах стресу – це більш повільне одужання, загроза прогресування різних ускладнень, більш тривале перебування в стаціонарі, високі витрати на їх лікування та реабілітацію, а також більш висока летальність хворих. Таким чином, особливої актуальності набуває своєчасне призначення та раціональний вибір оптимальної нутриціонної підтримки (НП) пацієнтів даної категорії, яка спрямована на належне забезпечення організму всіма необхідними поживними речовинами з оптимізацією їх засвоєння в інтересах, перш за все, мінімізації та максимально швидкого купірування явищ гіперметаболізма-гіперкатаболізма і сполученого з ними аутоканнібаліма. В даний час НП розглядається як пріоритетний і обов'язковий компонент інтенсивної нутрітивнометаболічної терапії важкохворих пацієнтів [371, 376, 373, 375]. Відсутність або запізнє призначення адекватної НП – це високий ризик відстрочених проблем у вигляді різних ускладнень (неспроможність анастомозів, імунодепресія, інфекція та ін.), багато з яких в подальшому вимагають тривалого та інтенсивного лікування хворих, а в ряді випадків можуть стати причиною летальності.

Останні десятиліття XX століття характеризувалися бурхливим розвитком клінічної нутриціології шляхом створенням цілої індустрії з виробництва різних поживних сумішей (ПС) як для парентерального, так і ентерального харчування (ЕХ) хворих. Часто ці види харчування є єдиною можливістю забезпечення потреб організму хворого в поживних речовинах. З іншого боку, їх можна розглядати як своєрідну харчову фармакотерапію, спрямовану на усунення метаболічних порушень.

Ентеральне харчування – вид клінічного харчування, при якому доставка поживних речовин в організм хворого в складі рідких сумішей здійснюється внутрішньо-шлунково (через шлунковий зонд або гастростому) і/або внутрішньокишково – через зонд, заведений в 12-палу або тонку кишку; через еюностому при неможливості і недостатності звичайного харчування. Крім того, з певною умовністю до ентерального харчування відносять і пероральне харчування рідкими поживними сумішами [370].

Ентеральне харчування може бути природним і штучним: харчування через рот – це природне ентеральне харчування, а через шлунковий або кишковий зонд – штучне ентеральне харчування. Показання для ентерального харчування:

– тривала (5-7 днів) відсутність можливості прийому їжі;

– наявність неповної або повної анорексії;

– необхідність забезпечення максимально раннього післяопераційного відновлення травної функції шлунково-кишкового тракту;

– клінічно виражена недостатність харчування (виснаження, кахексія);

–для пацієнтів, які виявляють ненавмисну втрату маси тіла більше 10% за останні 6 місяців або менше 5% за 1 місяць, або маса якого на 20% нижче ідеальної (ІМТ) [377].

Пероральне харчування рідкими поживними сумішами застосовується у вигляді рідкої дієти в тих ситуаціях, коли зонд хворому не потрібен і збережені або відновлені функції шлунково-кишкового тракту, проте є високі потреби в білках та енергії. При можливості самостійного харчування через рот, пацієнт в якості додаткового харчування випиває протягом дня від 500 мл (500 ккал) до

1000 мл (1000 ккал) суміші порціями по 150-200 мл між прийомами їжі. Як другий сніданок або полуденок – 250 мл (250 ккал) в день (або за потребами). Якщо суміш застосовується як додаткове харчування, слід враховувати обсяг і поживну цінність прийнятого звичайного або парентерального харчування. Основні завдання харчової підтримки:

– забезпечення поживними речовинами потреби організму;

– підтримка функцій тканин, імунної системи, скелетних і дихальних м'язів;

– відновлення наявних дефіцитів в поживних речовинах;

– корекція метаболічних порушень;

–профілактика та лікування інфекційних ускладнень та органної недостатності.

Обсяг і склад харчової підтримки повинні припускати адаптацію складу дієти до особливостей патогенетичних механізмів захворювання з урахуванням:

– особливостей клінічного перебігу, фази і стадії захворювання;

– характеру і тяжкості метаболічних розладів;

– порушення процесів травлення і всмоктування харчових речовин [370].

При виборі того чи іншого методу штучного лікувального харчування хворих у всіх випадках перевагу слід віддавати більше фізіологічному ентеральному харчуванню, так як парентеральне харчування, навіть повністю збалансоване і задовольняюче потреби організму, не може виключити певні небажані наслідки з боку шлунково-кишкового тракту.

Серед методів клінічного харчування ентеральне харчування займає одне в перших місць за рахунок таких його властивостей як фізіологічність, низький рівень ускладнень, простота доставки поживних речовин і низька вартість. Ентеральним введенням поживних речовин досягається збереження і відновлення цілісності слизової оболонки кишечника, що має істотне значення в підтримці імунної функції кишечника і організму в цілому, забезпечує відновлення порушеного гомеостазу. Здатність шлунково-кишкового тракту засвоювати поживні речовини в ранньому післяопераційному періоді знижує

рівень гіперметаболізма і покращує азотистий баланс. Раннє ентеральне харчування знижує ризик інфекційних ускладнень та тяжкість постагрессівних реакції, також дозволяє не тільки зберегти структурну цілісність і поліфункціональну діяльність шлунково-кишкового тракту, а й істотно поліпшити результати інтенсивної терапії важкохворих. Ентеральне харчування не вимагає строгих стерильних умов, не викликає небезпечних для життя пацієнта ускладнень і є приблизно в 46 разів дешевшим методом, в порівнянні з парентеральним. Якщо кишечник функціональний, то використовувати ентеральне харчування краще, ніж вливати харчування в венозну систему. Коли ентеральне харчування всмоктується в кишечнику, більшість нутрієнтів проходить через печінку до надходження в системну циркуляцію. Це більш фізіологічно і приносить пацієнтові користь з багатьох механізмів. Ентеральне харчування викликає менше ускладнень, ніж повне парентеральне харчування. Особливо важливо, це менша кількість інфекцій і менша ймовірність гіперглікемії [377].

Останнім часом асортимент рідких сумішей істотно розширено. Спеціальні суміші включають компоненти, необхідні для функціонування організму в умовах порушеного метаболізму і розраховані на певний вид патології – легенева, ниркова, печінкова недостатність, недостатність травлення та критичні стани.

На сьогоднішній день існує велика кількість ПС, призначених для введення через зонд або перорально для забезпечення надходження усіх необхідних компонентів в організм людини. Так, для ентерального харчування застосовують такі ПС:

– полімерні збалансовані суміші;

– елементарні та напівелементарні суміші;

– модульні суміші;

– суміші направленої дії;

– спеціалізовані харчові суміші.

Загальна класифікація сумішей для енерального харчування наведена у табл. 40.

Таблиця 40.

Загальна класифікація сумішей для енерального харчування.

За хімічним складом	Призначення	За фізичними властивостями	Приклади сумішей
1	2	3	4
Полімерні: – створені на основі натуральних продуктів (перша група); – створені на основі цільного та знежиреного молока (друга група); – низькокалорійні і безлактозні суміші на основі соєвих ізолятів або казеїнатів (третя група)	Такі суміші призначають більшості хворих із функціонуючим ШКТ та невисокими специфічними потребами в поживних речовинах.	– порошкові; – рідкі.	Перша група: «Complete Regular», «Complete Modified», «Nutrodrip Intensiv», «Vitaneed»; Друга група: «Sustagen», «Sustacal Powder», «Meritene Drink», «Meritene Milk»; Третя група: «Ensure», «Osmolite», «Enrich», «Fortison», «Isocal», «Nutricomp F», «Berlamin modular», «Nutrilan», «Fredubin flussig», «Supro plus 2640», «Оволакт», «Інпітан», «Нутрізон», «Nutren 1.0», «Nutrodrip»

Продовження таблиці 40

Елементарні та напівелементарні	Призначені в якості основної при порушеннях як внутриполосного, так і пристінкового травлення (в тому числі, при целіакії, панкреатиті, хворобі Крона, синдромі «укороченої тонкої кишки» тощо).	Рідкі, готові до вживання: - емульсії; - суспензії	Елементарні суміші: «Vivonex Std», «Criticare NH», «Travasorb NH» Напівелементарні суміші: «Reabilan», «Nutricomp peptide F», «Survimed OPD», «Pepti2000», «Nutrison peptison», «Alfare», «Peptamen»
Модульні: – білкові; – жирові; – вуглеводні; – змішані.	Можуть використовуватися в якості доповнення до збалансованих раціонів з метою отримання суміші, що відповідає за своїм складом потребам організму у поживних речовинах	– порошкові; – рідкі.	Білкові: «Pro Mod», «Casec», «Supro 760», «Supro 500E», «Supro 651», «Пептамін», «Фортоген 50», «Фортоген 75»; Жирові: «Microlipid», «MCT Oil», «Жировий енпіт» Вуглеводні: «Polycose», «Moducal», «Sumacal» Змішані: «Енпіт знежирений», «Duocal»

Метаболічнонаправлені: – при цукровому діабеті та стресовій гіперглікемії; – при печінковій недостатності; – при нирковій недостатності; – при дихальної недостатності.	Призначають певним категоріям пацієнтів для проведення корекції метаболічних порушень , зумовлених тим чи іншим патологічним станом.	Рідкі, готові до вживання: - емульсії; - суспензії.	– при захворюваннях та порушеннях функції печінки: «Hepatic Aid II», «Travasorb hepatic», «Fresubin hepa», «Lactostrict», «Lactostrict special»,«Нутріхім-hepa, «Гепат ЕН», «Гепамін», «Гепамін-special»; – при порушеннях функцій нирок: «Amin Aid», «Travasorb renal», «Нефромін»,«Нефрос ТЕН; – при захворюваннях чи порушеннях функцій підшлункової залози: «Portagen», «Pregestimil», «Terapin»; – при виражених розладах кишкового травлення та всмоктування: «Нутріх ім»,«Sandosource G.I. Control»

Полімерні збалансовані суміші (ПЗС). Складають основну групу ентеральних дієт (ЕД), призначених для перорального або зондового харчування пацієнтів різних категорій. Дозволяють тривалий час здійснювати субстратне забезпечення організму в усіх напрямках [372]. Такі суміші у

добовому об'ємі вміщують усі необхідні макронутрієнти в оптимальному співвідношенні, яке відповідає потребам організму [374].

Полімерні збалансовані суміші можна розділить на три групи. До першої групи відносять ПЗС, створені на основі натуральних продуктів. Особливістю таких сумішей є наявність в них лактози і харчових волокон. До таких сумішей відносять «Complete Regular» (Швейцарія), «Complete Modified» (Швейцарія), «Nutrodrip Intensiv» (Швейцарія), «Vitaneed» (США) та інші .До другої групи належать ПЗС на основі цільного та знежиреного молока, яке вміщує лактозу. До таких ПЗС відносять суміші «Sustagen» (Нідерланди), «Sustacal Powder» (Нідерланди), «Meritene Drink» (Швейцарія), «Meritene Milk» (Швейцарія) та інші. Третя група є найбільш поширеною. До третьої групи відносять низьколактозні і безлактозні суміші на основі соєвих ізолятів або казеїнатів. Вони практично не містять лактозу, мають в складі цілісний або підданий неглибокому ферментативному гідролізу білок. Такі суміші можуть використовуватися як через зонд, так і перорально. До них відносять «Ensure» (США), «Osmolite» (США), «Enrich» (США), «Fortison» (США), «Isocal» (Нідерланди), «Nutricomp F» (Германія), «Berlamin modular» (Германія), «Nutrilan» (Германія), «Fredubin flussig» (Германія), «Supro plus 2640» (США – Бельгія), «Оволакт» (Росія), «Інпітан» (Росія), «Нутрізон» (Росія – Нідерланди), «Nutren 1.0» (Швейцарія), «Nutrodrip» (Швейцарія) та багато інших [379].

<u>Елементарні та напівелементарні суміші.</u> Елементарні та олігомерні (напівелементарні) збалансовані ПС містять гідролізат білку, високогідролізний мальтодекстрин, а також всі незамінні мікронутрієнти. Призначені для ЕП в якості основної ПС при порушеннях як внутриполосного, так і пристінкового травлення. Елементарні та напівелементарні суміші виготовляють шляхом гідролізу макронутрієнтів до мономе-рів або олігомерів. Такі суміші використовують при різко виражених розладах перетравлюючої та всмоктувальної функції травної системи, в тому числі, при целіакії, панкреатиті, хворобі Крона, синдромі «укороченої тонкої кишки» тощо. Елементарні та напівелементарні суміші мають ряд переваг: легкість їх

пертравлювання та засвоєння; здатність забезпечувати відносно функціональний спокій печінки та підшлункової залози; відсутність високомолекулярних білків (антигенів, алергенів), тригліцеридів, лактози; мінімальний залишок (зменшення об'єму калових мас) [381].

Модульні суміші – це збагачений концентрат одного або декількох макро- або мікронутрієнтів. Модульні ПС не є збалансованими і не повинні застосовуватися для зондового харчування в якості самостійної ЕД. Вони можуть використовуватися в якості доповнення до збалансованих ПС з метою отримання суміші, що відповідає за своїм складом специфічним потребам організму у поживних речовинах. Модульні ПС бувають білкові, жирові, вуглеводні, жирові або змішані.

Поживні суміші направленої дії. Метаболічно-направлені суміші призначають певним категоріям пацієнтів для проведення корекції метаболічних порушень, зумовлених тим чи іншим патологічним станом. Наприклад, при захворюваннях чи порушеннях функцій підшлункової залози застосовують суміші направленої дії «Portagen» та «Pregestimil» (Нідерланди), «Terapin» (Польща). Їх особливість полягає в тому, що ліпіди представлені тригліцеридами із середньою довжиною ланцюга, які всмоктуються в тонкому кишечнику без попередньої обробки жовчю, панкреатичними та кишковими ліпазами .При виражених розладах кишкового травлення та всмоктування, а також при переході з парентерального харчування на ентеральне призначають химусоподібні ПС направленої дії, такі як «Sandosource G.I.Control» (Швейцарія), «Нутріхім» (Росія) [381].

Суміші на основі натуральних продуктів. Основними джерелами сумішей для ентерального харчування можуть служити натуральні харчові продукти. До складу сумішей промислового виробництва входять всі компоненти, що забезпечують добові потреби пацієнта в поживних речовинах. Відмінність цих сумішей від звичайної їжі полягає насамперед у тому, що їх склад повинен бути представлений інгредієнтами, які, з одного боку, створюють мінімальне навантаження на системи їх транспорту (гідролізу і всмоктування) з

ентеральної у внутрішнє середовище, з іншого – не перевищують осмотичності кишкового вмісту. До сумішей з натуральних харчових продуктів відносяться протертий варіант дієти № 15, суміші «Зонд І-ІІІ», які запропоновані Є.П. Кураповою, суміші типу «Нутріхім» з сублімованих натуральних продуктів, які розроблені Л.Н. Костюченко з співавторстві. Завжди слід пам'ятати про те, що кращою слід вважати суміш, приготовлену з натуральних харчових продуктів, природних для організму людини. При складанні раціону з натуральних харчових продуктів слід керуватися рекомендаціями В.Н. Будаговскої, наведеними в «Довіднику з дієтології» під редакцією А.А. Покровського і М.А. Самсонова. Відповідно до рекомендацій, цим же автором запропоновано зразкове меню для зондового харчування на основі дієти №15. Слід зауважити, що кожна страва повинна бути добре протертою з достатньою кількістю рідини і дотримуватися принципу послідовного введення кожної порції суміші в зонд з внутрішнім діаметром, достатнім для її проходження. Застосування цього раціону передбачає послідовне порційне введення складових його протертих страв в шлунковий зонд за допомогою шприца Жане.

Дієтологами Н.М. Бакликовою, Є.П. Кураповою і Л.Н. Костюченко складені рецептури і відпрацьована чітка технологія виготовлення поживних сумішей «Зонд І», «Зонд ІІ», «Зонд ІІІ» для хворих з хірургічною патологією шлунково-кишкового тракту. Кожен з варіантів поживних сумішей складається з порцій А і Б, які окремо зберігаються в холодильнику (не більше 2 діб) і перед вживанням змішуються в потрібних пропорціях. Порція Б містить відвар з кураги, яблучний і морквяний соки. Не рекомендується використовувати соки, що випускаються харчовою промисловістю, оскільки вони містять невизначену кількість цукру і різні консерванти. Соки готують зі свіжих яблук і моркви, методика їх приготування не вимагає докладного розгляду [374].

До сумішей з натуральних харчових продуктів відносяться сухі порошкоподібні поживні суміші типу «Нутріхім», що випускаються вітчизняною промисловістю (Л. Костюченко, Б.С. Бріскін). Суміші «Нутріхім-1А» (співвідношення між основними нутрієнтами аналогічні химусу) і

«Нутріхім-1Б» – містять нативні негідролізовані харчові продукти; суміш «Нутріхім-2» (співвідношення між полі-, оліго- і мономерами поживних речовин аналогічні химусу) отримана з натуральних продуктів, підданих частковому попередньому гідролізу панкреатином; суміш «Нутрозім» містить негідролізовані продукти, але в її склад доданий препарат – ферментний препарат флокозім, отриманий з слизової оболонки кишечника свиней. Основне призначення цих сумішей – внутрикишкове зондове харчування. Автори відзначають, що суміші добре розчинні, однак гравітаційна (крапельна) подача сумішей в зонд неможлива, вони можуть бути введені за допомогою шприца або перистальтичного насоса. Власне, це відноситься до всіх сумішей з натуральних продуктів, оскільки полімерні сполуки є основою їх складу.

Існує також суміш Modulen IBD (Модулен). Вона є повноціною ізокалорійною сумішшю (1 ккал/мл), яка призначена в основному для перорального харчування пацієнтів з хворобою Крона, неспецифічним виразковим колітом з метою профілактики розвитку і/або надання додаткового лікувального ефекту при ураженнях слизових оболонок (стоматити, мукозити, ангіни та ін.). При необхідності суміш може вводитися через зонд [380].До її складу входять: глюкозний сироп, молочний білок, цукор, молочний жир, середньоланцюгові тригліцериди, мінеральні речовини, кукурудзяна олія, емульгатор (соєвий лецитин), вітаміни, холіну бітартрат. Не містить глютен та лактозу. Таким чином, досить вагомим аргументом для застосування цієї групи сумішей, є той факт, що суміші з натуральних продуктів найбільш близькі до природної їжі людини, що само по собі свідчить про їх физиологичність. З цієї точки зору можливості для створення нового покоління сумішей для ентерального харчування з натуральних харчових продуктів не вичерпані. Однак чисто технічні труднощі при їх приготуванні в даний час в умовах кухні (зазвичай ця місія покладається на родичів пацієнтів) і при годуванні пацієнтів через зонд істотно обмежує число прихильників їх використання [370].

Об’єктом наших наукових дослідження стала харчова суміш для ентерального та перорального харчування, в рецептуру якої закладені

інгредієнти в пропорціях, що забезпечують збалансованість раціону, хімічний склад яких дозволяє певною мірою задовольнити потреби людини в усіх макро- та мікронутрієнтах. Дана суміш містить такі компоненти: безлактозний ізолят сироваткового протеїну, сир кисломолочний, жирністю 5%, кокосову та оливкову олії, риб'ячий жир, кашу вівсяну із цільнозернової крупи та мальтодекстрин. При проведенні експериментальних досліджень, були встановленні такі показники, що визначають фізико-хімічні властивості розроблених сумішей, тобто: масова частка вологи, титрована кислотність, в'язкість, осмолярність, а також проведен мікробіологічний аналіз для визначення показників МАФАнМ, наявності БГКП, наявності стафілококів, сальмонел, плесенів та дріжджів. Результати проведенних досліджень фізіко-хімічних показників якості надани у табл. 41.

Таблиця 41.

Результати фізико-хімічного аналізу

Показник	Одиниці вимірювання	Показники згідно ДСТУ	Результат для суміші на основі сиру кисло молочного	Результат для суміші на основі яловичини
Масова частка вологи	%	78-85	83	80
Титрована кислотність	º Т	6,2-8	7	6,4
В'язкість	Па•с	24	24	24
Осмолярність	мосм/л	250-450	410	370

Згідно наданих результатів фізико-хімічного аналізу спостерігаємо, що розробленні суміші відповідають показникам якості згідно встановлених стандартів, а саме: масова частка вологи відповідає встановленим показникам згідно стандартів, титрована кислотність суміші знаходиться в межах – від слабо-кислої до слабо-лужної, оптимальні показники в'язкості, які були зареєстровані за температур 30 та 40ºС, а також допустимі рівні осмолярності,

встановлені стандартами для продуктів на основі натуральних харчових продуктів.

Крім того, в лабораторних умовах було проведено мікробіологічний аналіз розроблених харчових сумішей – на основі сиру кисломолочного та яловичини. Мікробіологічні дослідження є надзвичайно важливими для приготування сумішей для ентерального харчування, оскільки такі продукти повинні бути, в першу чергу, безпечними, оскільки вони попадають безпосередньо у шлунково-кишковий тракт, минаючи ротову порожнину, в який проходить попереднє знезараження продуктів. Було досліджено загальну кількість МАФАнМ, БГКП (коліформи), наявність сальмонел, стафілококів, плесенів та дріжджів. Результати дослідів у табл. 42.

Таблиця 42.

Результати мікробіологічних досліджень

Показники	Допустимі рівні, мг/кг, не більше	Суміш на основі сиру кисломолочного	Суміші на основі яловичини	Примітки
Мікробіологічні показники:				
КМАФАнМ	$2 \cdot 10^3$	$3{,}6 \cdot 10^3$	$5{,}2 \cdot 10^3$	КОЕ/г, не більше
БГКП (коліформи)	1,0	не виявлено	не виявлено	маса (г), в якій не допускаються
S. aureus	1,0	не виявлено	не виявлено	маса (г), в якій не допускаються
Патогенні, в т.ч. сальмонели	100	не виявлено	не виявлено	маса (г), в якій не допускаються
Плесені	50	не виявлено	не виявлено	КОЕ/г, не більше
Дріжджі	10	не виявлено	не виявлено	також

Таким чином, при проведенні мікробіологічного аналізу, було визначено, що кількість МАФАнМ для суміші на основі сиру кисломолочного складає

$3,6 \cdot 10^3$, а для суміші на основі яловичини – $5,2 \cdot 10^3$, що вказує на підвищену контамінацію досліджуваного продукту. Це може бути обумовлено нестерильними умовами проведення експерименту. При дослідженні продуктів на вміст БГКП, в суміші на основі яловичини було виявлено коліформи, проте в обох сумішах була відсутня кишкова паличка.

Наявності S. aureus, патогенних бактерій роду сальмонела, плесенів та дріжджів, в досліджуваному зразку виявлено не було.

Таким чином, проведенні науково-експериментальні дослідження дозволили зробити наступні висновки. Лікувальне харчування можна розглядати як фармакотерапію метаболічних порушень і єдиний шлях забезпечення енергопластичних потреб організму хворого, що вимагають наявності спеціально підібраних композицій поживних речовин і способів їх реалізації. В останнє десятиліття ентеральне харчування привертає до себе все більшу увагу. Його переваги фізіологічність, низький рівень ускладнень, простота доставки нутрієнтів і низька вартість. Крім того, здатність шлунково-кишкового тракту засвоювати поживні речовини в ранньому післяопераційному періоді знижує рівень гіперметаболіму і покращує азотистий баланс. В основу створення сучасних поживних сумішей для ентерального харчування покладена теорія збалансованого харчування на основі фізіологічних потреб в харчових речовинах і енергії здорової людини, але з урахуванням особливостей патогенезу, клінічного перебігу, стадії хвороби, рівня і характеру метаболічних порушень, функціонального стану шлунково-кишкового тракту, впливу певних нутрієнтів на інтенсивність обмінних процесів. В останні роки вона доповнена відомостями про потреби і можливості використання окремих нутрієнтів при різних захворюваннях. Відкриття в області фізіології шлунково-кишкового тракту і імунології призвели до розвитку теорії про те, що харчування, адаптоване до функціонального стану органів травлення та захворювання пацієнта, що забезпечує дієтами, що містять специфічні поживні речовини, має ряд переваг перед стандартними живильними сумішами і володіє спрямованим лікувальним ефектом [378].

SECTION 17.
HISTORY

17.1 Golden division act. history

Понятие о золотом делении ввел в научный обиход Пифагор [383], древнегреческий философ и математик (VI в. до н.э.). Пифагор позаимствовал знание Золотого Сечения у мудрецов Египта и Вавилона. Пропорции пирамиды Хеопса, храмов, барельефов, предметов быта и украшений из гробницы Тутанхамона свидетельствуют, что египетские мастера пользовались соотношениями Золотого Сечения при их создании. По закону пропорций Золотого Сечения расположены пирамиды в Азии (Тибет), Африке (Египет), Америке (Майа) и гигантские скульптуры на острове Пасхи.

Божественная мера красоты, сотворенная в природе – Золотое Сечение. Золото́е Сече́ние, или Боже́ственная Пропо́рция (лат. Sectio aurea; Sectio Divina) – это основа гармонии, уникальное соотношение величин, наилучшая и единственная пропорция. В естественной природе, окружающем человека бытие, в искусственно созданных формах содержатся математические отношения величин, которые бывают разного рода. Самые простые - отношения сторон квадрата или прямоугольника, состоящего из двух квадратов. Подобные отношения, выражаемые целыми числами, называются кратными. Они часто встречаются в архитектуре - в чертежах древних египетских и античных храмов, постройках Палладио (эпоха Итальянского Возрождения). Более сложная зависимость, в которой уравниваются отношения различных по величине форм, называется пропорцией (лат. Pro-portio - «соотношение, соразмерность»). Вызывает удивление, что не только простые целые числа, но и иррациональные являются модулем (лат. modulus - «мера») - наименьшей величиной, служащей единицей при построении более сложных форм в архитектуре, скульптуре, живописи.

Анализируя тело человека и Золотое сечение, нужно сказать, что художники, ученые, модельеры, скульпторы, дизайнеры делают свои расчеты, чертежи и наброски исходя из соотношения Золотого Сечения. Леонардо да Винчи создавал свои шедевры, досконально изучив параметры человеческого тела и используя формулу Золотой Пропорции. Ле Корбюзье возводил свои архитектурные творения, считающиеся шедеврами инженерной мысли также используя формулу Фибоначчи. Справочник Нойферта «Строительное проектирование» основано на параметрах туловища человека, заключающей в себе Золотую Пропорцию. Пропорции различных частей тела человека составляет число 1,618, близкое к Золотому сечению [382].

В геометрии прямоугольник с соотношением сторон равным Золотому Сечению называют ортогональным золотым прямоугольником (одна сторона равна 1, а другая – 1,618).

Английский ученый Уильям Чарлтон констатировал – «Нам приятен вид спирали, потому что визуально мы с легкостью можем рассматривать ее …» (William Charton: Aesthetics, Anlntrjduction, Hutchinson Univerzity library, London, 1970). Спиралевидную форму видим в расположении семян подсолнечника, в шишках сосны в строении лепестков роз и т.д. Природа сотворена в совершенной мере и все имеет свою форму и меру, например, куриное яйцо.

Моллюск находится в раковине, и поэтому внутренняя поверхность безупречно гладкая. Внешние углы, изгибы раковины увеличивают ее прочность. Совершенство и поразительная разумность строения ракушки улитки восхищает. Спиральная идея раковин является совершенной геометрической формой и удивительна по своей отточенной красоте. «Нет более простой системы, чем рост морских ракушек, которые растут и расширяются соразмерно, сохраняя ту же форму. Раковина, что самое удивительное, растет, но никогда не меняет форму» (D’Arcy Wenworth Thompson. On Growth and Form, C.U.P., Cambridge, 1961). «Внутри раковины наутилуса есть множество внутренних пространств с перегородками из

перламутра, причем сама раковина внутри представляет собой спираль, расширяющуюся от центра. По мере роста наутилуса в передней части ракушки нарастает еще один объем, но уже больших размеров, чем предыдущая, а перегородки, оставшиеся позади покрываются слоем перламутра. Таким образом спираль все время пропорционально расширяется» (C. Morisson, Along The Track, Withcombe and Tombs, Melbourne). К типам спиралевидных раковин, имеющих логарифмическую форму роста в соответствии с их научными названиями относятся: Haliotis Parvus, Dolium Perdix, Murex, Skalari Pretioza. Строение микроорганизмов (планктоны) имеют форму спирали.

Рога и бивни животных развиваются в форме спирали. Бивни слонов и вымерших мамонтов, когти львов, клювы попугаев являют собой логарифмические формы и напоминают форму оси, склонную обратится в спираль. Пауки всегда плетут свои паутины в виде логарифмической спирали. Рога антилоп, диких баранов развиваются в виде спирали по законам Золотой Пропорции.

Растения в точности следует в своем развитии математическим законам. Растение запрограммировано на логарифмическую форму. Ветки деревьев расположены согласно четкому математическому плану. Ботаники отмечают что Золотое Сечение всегда присутствует в расположении веток растущего дерева. Последовательность Фибоначчи важный код в понимании точного расчета строения растений и их планов. Листья и цветы, расположенные в последовательности, показывают нам совершенную эстетику и порядок. Математическая формула строения растений является самым ярким доказательством особого замысла и плана их сотворения.

Строение молекул ДНК имеют Золотые Пропорции. Тонкое равновесие, которое присутствует в молекуле ДНК растения присутствует и во внешнем виде. Множество доказательств существования Золотого Сечения в строении растений можно увидеть на примерах цветов, плодов, семян. Самый яркий пример – это подсолнух. Семечки располагаются в виде двух спиралей, обращающихся вправо и влево. При подсчете нитей спирали, которые

вращаются вправо и влево, то получим два числа из золотой последовательности Фибоначчи. Лепестки ромашек, зубчики шишек располагаются в виде двух спиралей, закручивающихся вправо и влево. При их подсчете получаем два числа из золотой последовательности Фибоначчи. Эти числа соотношения спиралей в различных растениях выглядят так, в сосновых шишках (5/8, 8/13), у плодов ананаса (8/13), у розетки ромашек (21/34), у подсолнухов (21/34, 34/55, 55/89).

«Доктор Каспер доказал, что для сферической оболочки вируса самой оптимальной формой является симметрия типа формы Икосаэда. Такой порядок сводит к минимуму число связующих элементов. Большая часть геодезических полусферических кубов Букмистра Фуллера построены по аналогичному геометрическому принципу. Монтаж таких кубов требует чрезвычайно точной и подробной схемы разъяснения, тогда как бессознательные вирусы сами сооружают себе столь сложную оболочку из эластичных, гибких белковых клеточных единиц» (A.Klug «Molecules on Grand Scale» New Scientist, 1561:46, 1987). Комментарий А. Клуга еще раз напоминает о предельно очевидной истине. В строении микроскопического организма, который ученые классифицируют как самую примитивную форму жизни в данном случае в вирусе присутствует четкий замысел и осуществлен разумный проект. Этот проект не сопоставим по своему совершенству и точности исполнения с самыми передовыми архитектурными проектами, созданными людьми.

Золотое Сечение присутствует в строении всех кристаллов. Но большинство кристаллов микроскопически малы. Однако снежинки представляют собой кристаллы воды, вполне доступны нашему взору. Все изысканной красоты фигуры, которые образуют снежинки, все оси окружности и геометрические фигуры в снежинках также всегда без исключения построены по совершенно четкой формуле Золотого Сечения.

Загадочные «дольмены», построенные в бронзовом веке племенами, которые жили шесть тысяч лет назад на берегу Черного моря. Мегалитические

постройки, сложенные из каменных плит и блоков или высеченные в скальном массиве («пещеры», «дома карликов»), имеют элементы золотого сечения.

С историей Золотого Сечения связано имя итальянского математика (монаха) Леонардо из Пизы (табл. 43, A), более известного под именем Фибоначчи (Леона́рдо Пиза́нский, сын Боначчи). Леонардо путешествовал по Востоку, познакомил Европу с индийскими (арабскими) цифрами. В 1202 году вышел в свет его математический труд "Книга об абаке" (Книга о счетной доске), в котором были собраны многие известные на то время задачи.

Французский архитектор Ле Корбюзье (табл. 43, F) нашел, что в рельефе из храма фараона Сети I в Абидосе и в барельефе, изображающем фараона Рамсеса, пропорции фигур соответствуют величинам золотого деления. Зодчий Хесира, изображенный на барельефе деревянной доски из гробницы его имени, держит в руках измерительные инструменты, в которых зафиксированы пропорции Золотого Сечения.

Греки были искусными геометрами. Даже арифметике обучали своих детей при помощи геометрических фигур. Квадрат Пифагора и диагональ этого квадрата были основанием для построения динамических прямоугольников. Платон (427...347 г.г. до н.э.) знал о Золотом Сечении. Его диалог "Тимей" посвящен математическим и эстетическим воззрениям школы Пифагора и, в частности, вопросам золотого деления. В фасаде древнегреческого храма Парфенона присутствуют золотые пропорции. При его раскопках обнаружены циркули, которыми пользовались архитекторы и скульпторы античного мира. В Помпейском циркуле (г. Неаполь) заложены пропорции золотого деления.

В дошедшей до нас античной литературе Золотое Деление впервые упоминается в "Началах" Евклида (табл. 43, E). Во 2-й книге "Начал" дается геометрическое построение Золотого Деления. После Евклида исследованием Золотого Деления занимались Гипсикл (табл. 1, D), Папп (Ш в. н.э.) и др. В средневековой Европе с золотым делением познакомились по арабским переводам "Начал" Евклида (табл. 43, E). Переводчик Дж. Кампано из Наварры (III в.) сделал к переводу комментарии. Секреты золотого деления ревностно

оберегались, хранились в строгой тайне. Они были известны только посвященным.

Сидящий человек на скамейке в парке, выбирает для себя место как раз в Золотом Сечении по отношению к габаритам скамьи. Отношение одной части скамьи (длинной) к другой части (короткой) равно 1,618.

В эпоху Возрождения усиливается интерес к золотому делению среди ученых и художников в связи с его применением как в геометрии, так и в искусстве, особенно в архитектуре Леонардо да Винчи (табл. 43, С), художник и ученый, видел, что у итальянских художников эмпирический опыт большой, а знаний мало [386]. По мнению современников и историков науки, Лука Пачоли был настоящим светилом, величайшим математиком Италии в период между Фибоначчи и Галилеем. Лука Пачоли (табл. 43, В) был учеником художника Пьеро делла Франчески, написавшего две книги, одна из которых называлась "О перспективе в живописи". Его считают творцом начертательной геометрии.

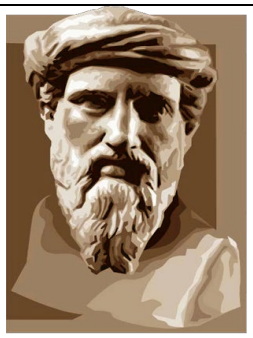
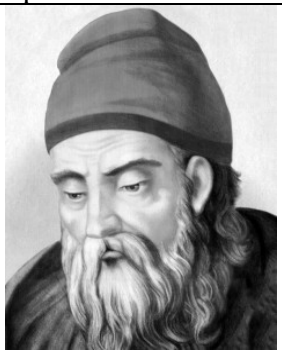
Лука Пачоли (табл. 43, В) прекрасно понимал значение науки для искусства. В 1496 г по приглашению Герцога Моро он приезжает в Милан, где читает лекции по математике. В Милане при дворе Моро в то время работал и Леонардо да Винчи. В 1509 г. в Венеции была издана книга Луки Пачоли "Божественная пропорция" с блестяще выполненными иллюстрациями, ввиду чего полагают, что их сделал Леонардо да Винчи. Книга была восторженным гимном золотой пропорции. Монах Лука Пачоли не преминул назвать и ее "божественную суть" как выражение божественного триединства бог сын, бог отец и бог дух святой (подразумевалось, что малый отрезок есть олицетворение бога сына, больший отрезок - бога отца, а весь отрезок - бога духа святого).

Астроном XVI в. Иоган Кеплер назвал Золотое Сечение одним из сокровищ геометрии. Кеплер называл золотую пропорцию продолжающей саму себя "Устроена она так, - писал он, - что два младших члена этой нескончаемой пропорции в сумме дают третий член, а любые два последних члена, если их сложить, дают следующий член, причем та же пропорция сохраняется до бесконечности". Леонардо да Винчи (табл. 43, С), много внимания уделял

изучению Золотого Сечению [384]. Он производил сечения стереометрического тела, образованного правильными пятиугольниками, и каждый раз получал прямоугольники с отношениями сторон в золотом делении. Поэтому он дал этому делению название Золотое Сечение. В то же время на севере Европы, в Германии, над теми же проблемами трудился Альбрехт Дюрер. Дюрер пишет: - "Необходимо, чтобы тот, кто что-либо умеет, обучил этому других, которые в этом нуждаются. Это я и вознамерился сделать".

Таблица 43.

Мастера (ученые), познававшие Золотое Сечение

A. **Леона́рдо Пиза́нский** (1170-1250), г. Пиза. Математик. Известен под псевдонимом **Фибона́ччи**.	B. **Фра Лука Бартоломео де Пачоли,** (1445–1517). Итальянский математик, сновоположник принципов бухгалтерии, европейский алгебраист XV в.	C. **Леона́рдо ди сер Пье́ро да Ви́нчи**, (15 апреля 1452, селение Анкиано, около городка Винчи, замок Кло-Люсе, близ Амбуаза, Франция). Хдожник, скульптор, архитектор, ученый, анатом.
		
D. **Гипсикл Александрийский** (190 до н. э.- 120 до н.э.) древнегреческий математик, астроном. Автор дополнительной XIV книги «Начал» Евклида.	E. **Евклид** (325 г. - 265 г. до н.э.) Александрия, Египет. Математик.	F. **Ле Корбюзье́** (Шарль-Эдуа́р Жаннере́-Гри) (06.11.1887, Ла-Шо-де-Фон, Швейцария 27.08.1965, Рокебрюн, Кап-Мартен, Франция). Архитектор, пионер модернизма и функционализма, интернационального стиля.

Судя по одному из писем Дюрера, он встречался с Лукой Пачоли во время пребывания в Италии. Альбрехт Дюрер подробно разрабатывает теорию пропорций человеческого тела. Важное место в своей системе соотношений Дюрер отводил Золотому Сечению. Рост человека делится в золотых пропорциях линией пояса, а также линией, проведенной через кончики средних пальцев опущенных рук, нижняя часть лица - ртом и т.д. Известен пропорциональный циркуль Дюрера.

В последующие века правило Золотой Пропорции превратилось в академический канон и, когда со временем в искусстве началась борьба с академической рутиной, в пылу борьбы "вместе с водой выплеснули и ребенка". Вновь "открыто" Золотое Сечение было в середине XIX в. В 1855 г. немецкий исследователь золотого сечения профессор Цейзинг опубликовал свой труд "Эстетические исследования". С Цейзингом произошло именно то, что и должно было неминуемо произойти с исследователем, который рассматривает явление как таковое, без связи с другими явлениями. Он абсолютизировал пропорцию золотого сечения, объявив ее универсальной для всех явлений природы и искусства. У Цейзинга были многочисленные последователи, но были и противники, которые объявили его учение о пропорциях "математической эстетикой".

Справедливость теории Цейзинг проверял на греческих статуях. Наиболее подробно он разработал пропорции Аполлона Бельведерского. Подверглись исследованию греческие вазы, архитектурные сооружения различных эпох, растения, животные, птичьи яйца, музыкальные тона, стихотворные размеры. Цейзинг дал определение золотому сечению, показал, как оно выражается в отрезках прямой и в цифрах. Когда цифры, выражающие длины отрезков, были получены, Цейзинг увидел, что они составляют ряд Фибоначчи, который можно продолжать до бесконечности в одну и в другую сторону. Следующая его книга имела название "Золотое деление как основной морфологический закон в природе и искусстве".

В конце XIX - начале XX века появилось немало формалистических

теорий о применении Золотого Сечения в произведениях архитектуры и искусства [386]. С развитием архитектуры, дизайна, технической эстетики действие закона Золотого Сечения распространилось на конструирование машин, мебели и т.д. В связи с результатом Золотого Сечения и числами Фибоначчи особый интерес представляет развитие научных направлений, которые находятся на стыке науки и искусства. Одним из них являются изучение Золотого Сечения, чисел Фибоначчи и их приложений в Природе, науке и искусстве. В своих истоках это направление восходит к Пифагору, Платону, Евклиду. Впервые геометрическое определение «Золотого Сечения», называемого в старину «делением отрезка в крайнем и среднем отношении», дано в «Началах» Евклида. Эта задача была рассмотрена Евклидом с целью геометрического построения правильного пятиугольника, называемого Пентагоном, и Додекаэдром, одного из пяти правильных многогранников, называемых «Платоновыми телами». В «космологии Платона» додекаэдр символизировал «Всемирный разум» и «Гармонию Вселенной». Идею активного сближения познавательных подходов точных и гума, среди которых - А. Эйнштейн, Н. Бор, В. Гейзнгберг, Г. Вейль.

Последовательность чисел Фибоначчи и зависимость Золотого Сечения непосредственным образом затрагивает сферу физики и физических законов. «Представим две соприкоснувшиеся между собой стеклянные пластины. Теперь направим на них прямой поток света. Часть потока света пройдет сквозь стекло, вторая часть светового потока поглотится, третья часть потока отразится от стекла. Произойдет явление множественного отражения. Количество путей, которые проходит световой поток внутри стекла, прежде чем пройти и выйти сквозь стекло зависит от количества лучей, которые не прошли сквозь стекло, а подверглись отражению. Если подсчитать количество светового потока, отразившегося от стекла и прошедшего сквозь него, то получим последовательность чисел Фибоначчи в соотношении 1/1,618» (V.E.Hoggalt, Jr. Ve Bicknell-Jonson, Fibonacci Quartley, 17:118, 1979).

Распространение естественного света во внутренних пространствах архитектурных объектов основано на законах Золотого Сечения. Расчет естественной освещенности помещений производится в соответствии с нормами освещенности, который позволяет определить рациональную площадь остекления в наружных ограждающих конструкциях зданий. Естественное освещение - это освещение помещения солнечным светом, проникающим через световые проёмы, обеспечивающее более равномерное освещение внутренних пространств. Естественное освещение характеризуется тем, что создаваемая освещенность изменяется в широких пределах в зависимости от времени года, дня, метеоусловий. Непостоянство естественного света, которое может меняться в течение некоторого времени, вызывает необходимость нормировать естественное освещение. Поэтому в качестве нормируемой величины для естественного освещения принята относительная величина - коэффициент естественной освещенности (*КЕО*), равный отношению освещенности, создаваемой в рассматриваемой точке заданной плоскости внутри помещения ($E_в$) светом, прошедшим через световой проем и исходящим непосредственно от равномерно яркого неба к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности ($E_Н$), создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$КЕО = E_в / E_Н \cdot 100\,\%, \qquad (1)$$

КЕО - оценивает размеры оконных проемов, вид остекления и переплетов, их загрязнение, т.е. способность системы естественного освещения пропускать свет. Естественное освещение бывает трех видов – боковое, верхнее и комбинированное. Рассматриваем помещение с боковым естественным освещением в расчетном помещении. Вид остекления и вид переплетов, материал не учитывается. Например, высота помещения равна 3000 мм, ширина помещения – 5000 мм, длина помещения – 8000 мм; высота оконного проема – 3000 мм, длинна оконного проема – 5000 мм; расчетные точки в помещении, в которых рассчитывается геометрический коэффициент естественной освещенности, расположены на отм. 0.000 м. Геометрический коэффициент

естественной освещенности - это отношение естественной освещенности, создаваемой в рассматриваемой точке заданной плоскости внутри помещения светом, прошедшим через незаполненный световой проем и исходящим непосредственно от равномерно яркого неба к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под полностью открытым небосводом. При этом участие прямого солнечного света в создании той или другой освещенности исключается, выражается в процентах. Геометрический коэффициент естественной освещенности при боковом освещении определяется:

$$\varepsilon_б = 0.01\ (n_1\ n_2), \qquad (2)$$

$n_1, n_2,$ – количество лучей из графиков (СНиП), проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе и плане помещения. Расчетная точка №8 расположена на горизонтальной поверхности пола на расстоянии одного метра от оконного проема. Расчетная точка №2, расположена на горизонтальной поверхности пола от противоположной стены на расстоянии одного метра. Расчетная точка №1, расположена на пересечении плоскости пола и противоположной стены. Остальные расчетные точки (3,4,5,6) расположены на горизонтальной поверхности пола и на расстоянии одного метра друг от друга. После вычисления геометрического коэффициента естественной освещенности в каждой из восьми расчетных точек получаем результат (табл.44), на основании, которого построен график изменения геометрического *КЕО* (рис.1).

В XVII столетии астроном Кеплер установил, что отношение соседних чисел Фибоначчи стремится к «Золотой Пропорции». Ряд чисел - 0,1,1,2,3,5,8,3,21,34,55,89 известен как ряд Фибоначчи. Особенность последовательности чисел состоит в том, что каждый ее член, начиная с третьего, равен двум предыдущим 2+3=5; 3+5=8; 5+8=13, 8+13=21; 13+21= 34 и т.д. Отношение смежных чисел ряда приближается к отношению «Золотой Пропорции». Например, 21:34 = 0,618, а 34:55 = 0,618.

Числовая последовательность, в которой каждое число Фибоначчи $F_{(n)}$

вычисляется в соответствии со следующим рекуррентным соотношением:

$$F_{(n)} = F_{(n-l)} + F_{(n-2)}; \quad (3)$$

Рекуррентное соотношение Фибоначчи (3) является первым в истории науки рекуррентным соотношением, которое предвосхитило «метод рекуррентных соотношений». Из ряда Фибоначчи, начиная с третьего числа, возьмем восемь чисел и построим график изменения чисел (Рис.2).

Таблица 44.

Значения геометрического КЕО ($\varepsilon_б$)

в расчетных точках и числа Фибоначчи $F_{(n)}$

№ р. т.	n_1	a	n_2	$\varepsilon_б$	$F_{(n)}$	примечание
8	35	8	97	33,9	34	- 0,01
7	22	11	95	20,9	21	- 0,01
6	15	15	87	13,05	13	+0,05
5	10	19	80	8,00	8	0,00
4	7	24	72	5,04	5	+0,04
3	5	28	60	3,00	3	0,00
2	3,5	32	58	2,03	2	+0,03
1	2,3	37	46	1,05	1	+0,05

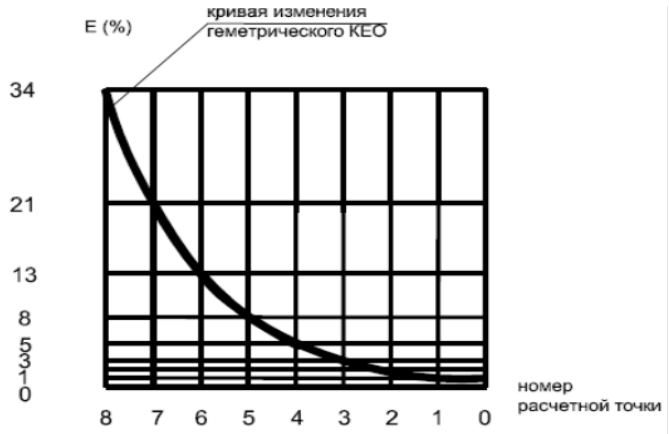


Рис. 1 ГРАФИК ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО КЕО

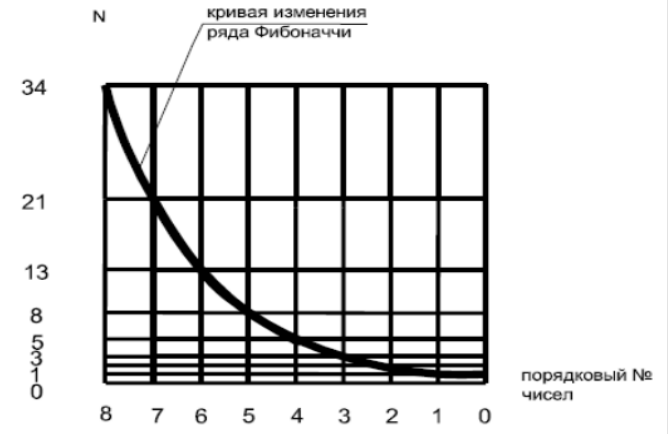


Рис. 2 РЯД ФИБОНАЧЧИ

При наложении кривой графика изменения геометрического КЕО и кривой графика ряда Фибоначчи видим, что графики совпадают. Строение всех встречающихся в природе живых организмов и неживых объектов не имеющих никакой связи и подобия между собой спланировано по определенной математической формуле. Это является самым ярким доказательством их осознанного образования, согласно проектному замыслу. По этому закону великого Божественного Творения созданы Галактики, расположены планеты в солнечной системе, построена пирамида Хеопса, самая известная из Египетских пирамид, загадочные дольмены, построенные в бронзовом веке, знаменитый греческий храм Парфенон, большинство греческих скульптурных памятников, непревзойденная «Джоконда» Леонардо да Винчи, картины Рафаэля, картины Шишкина и современного русского художника Константина Васильева, музыкальные этюды Фредерика Шопена, музыка Людвига ван Бетховена, Петра

Ильича Чайковского, Бэлла Барток, "Модулор" Корбюзье. Ученые изучают этот закон и стараются подражать ему, воплощая этот его в своих творениях. Все в мире и в окружающей нас жизни сотворено мудрой природой.

Кривая изменения геометрического коэффициента естественной освещенности в помещении, отношение сторон которого и сторон оконного проема, равно 0,618, а кривая восьми чисел Фибоначчи (1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34) абсолютно совпадают, свидетельствуют о том, что проникновение естественного света во внутреннее пространство, работает по законам Золотого Сечения. В том случае, если расчетное внутреннее пространство и в нем оконным проем имеют габариты, отношения которых равны Золотому Сечению, тогда значения кривой графика изменения геометрического коэффициента освещенности совпадают со значениями чисел Фибоначчи.

SECTION 18.
TRANSPORT

18.1 The relevance of the integration of multifunctional complexes in the railway infrastructure

З швидким зростанням міст зростають і темпи будівництва. З кожним роком швидкість забудови збільшується. Загальна тенденція розвитку мегаполісів показує, що для зростання найчастіше використовується принцип розширення міських меж. Однак, всередині кожного великого міста існує досить масштабний територіальний ресурс – надшляхові простори. За даними Британської інженерної компанії WSP, у межах Лондона може бути споруджено 250 тисяч нових будинків над територіями залізниць [387].

Основним і найбільш перспективним видом розвитку пасажирського транспорту, є розвиток залізничного транспорту. У сучасній ситуації потенціал залізничного транспорту використовується недостатньо повно. Розвиток транспортної інфраструктури України обумовлений перспективними процесами приєднання її до Європейського простору. Включення регіональної транспортної системи до транс'європейської транспортної мережі відбувається на базі залізничного транспорту, оскільки він посідає провідне місце у транспортному комплексі країни з транзитних перевезень [388].

Залізничний транспорт являє собою каркас швидкісної транспортної системи міста та країни, його розвиток може задовольнити попит на пасажирські перевезення в умовах збільшення чисельності населення, зростання мобільності і рівня автомобілізації. Головною тенденцією у формуванні залізничних вокзальних комплексів є розвиток багатофункціональних комплексів громадського обслуговування, тісно зв'язаних з прилеглою міською тканиною.Таким чином, можна зробити висновок, що території залізничної інфраструктури володіють значним потенціалом для проектування і будівництва.

При очевидних транспортних перевагах, залізнична інфраструктура викликає ряд проблем для міста як єдиного організму, одночасно розвиваючи і порушуючи життя в ньому: 1) Значний негативний вплив на екологічну складову. Виробництво відходів, механічний вплив (випромінювання і вібрації), вплив різноманітними хімічними елементами, а також біологічні порушення, пов'язані з мікро і макроорганізмами, вірусами і бактеріями, разом з порушенням природних ландшафтів провокують погіршення навколишнього середовища, які діють довгочасно і накопичують свій негативний ефект. 2) Мала насиченість територій залізничної інфраструктури суспільною функцією (території станцій та вокзалів). Це стає проблемою при малій кількості станцій і слаборозвиненої системи транспортно-пересадочних вузлів. 3) Утворення розривів у міській тканини. Шляхи поділяють середовище непереборним бар'єром, створюючи транспортні проблеми і порушуючи пішохідні зв'язки. Як наслідок, виникають так звані «райони відчуження» – слабо використовуються або невикористані території з низькою пішохідною прохідністю. Такі зони сприяють збільшенню рівня кримінальної активності і значно знижують привабливість і цінність міського середовища. Світовий досвід проектування показує, що комплекс проблем, пов'язаний з залізничною інфраструктурою, можна не тільки звести нанівець, але і отримати вигоду для міста, інвестицій, жителів. Ключовим фактором у вирішенні цих проблем стає використання надшляхових просторів. Використання територій залізничної інфраструктури має ряд переваг, які значно підвищують цінність подібних земельних ресурсів: 1) Для нового будівництва в умовах використання надшляхового простору не потрібно нову земельну ділянку. Ми маємо заздалегідь відведену територію, чітко сформульований контекст і зону забудови. Це дозволяє грамотно використовувати простір, не порушуючи при цьому транспортного сполучення. 2) Території залізничної інфраструктури знаходяться в сталих міських районах.
У таких умовах існує розвинене міське транспортне сполучення, різноманіття суспільних функцій і значна кількість споживачів простору. 3) Функціональне наповнення об'єктів в надшляховому просторі може бути найрізноманітнішим і

залежить від конкретного контексту. Широка варіативність у виборі функції дає можливість залучати інвестиції з різних областей і робити кожне з нових споруд по своєму унікальним. 4) Поява нових громадських просторів збільшить пішохідні потоки, додасть постійну, 24 годинну діяльність, тим самим підвищить безпеку району проектування. Це, в свою чергу, зробить район більш привабливим, а разом з наявністю різноманітних дозвільно-розважальних функцій підвищить вартість не тільки самого надшляхового простору, але і нерухомості в радіусі пішохідної доступності.

Визначені такі фактори впливу на формування територіїнадшляхового простору залізничної інфраструктури: функціональні (об'єкти, що межують з територією залізничної інфраструктури); планувальні (геометрія прилеглих міських магістралей, особливості залізничної станції та ділянки локалізації залізничного простору); композиційні (архітектурна стилістика та масштабність забудови, наявні композиційні осі, акценти, домінанти)[389].

Роль озеленення у створенні надшляхових просторів вкрай важлива, так як рекреаційні зони є потужними аттракторами громадської діяльності. Використання подібних елементів у цих просторах дозволяє звести до мінімуму негативний екологічний ефект, вироблений залізницями і поїздами. Грамотна інтеграція нового об'єкта у простори залізничної інфраструктури, таким чином, дозволяє вирішити не тільки екологічні та містобудівні проблеми, але і створити нові потужні простори, які підштовхнуть розвиток міста у всіх напрямках. Головним завданням при архітектурно-дизайнерському проектуванні надшляхових просторів стає гармонійне і комплексне рішення проблем, викликаних залізничною інфраструктурою. Аналіз зарубіжного досвіду проектування в контексті залізничної інфраструктури (Hudsonyard у Нью-Йорку; JardinAtlantique, в Парижі; Tamperetravelcenter, у Фінляндії) показує, що використання територій залізничної інфраструктури – широко розповсюджений спосіб освоєння внутрішньо міських ділянок. Розглянуті аналоги показують загальні принципи проектування в умовах залізничної інфраструктури. Досвід проектування надшляхового багатофункціонального

простору від Датського архітектурного бюро COBE в Тампере, Фінляндія – найбільш близький до вітчизняних кліматичних умов приклад. У 2014 році бюро виграло конкурс на проектування великого транспортного вузла в центрі другого за величиною міста Фінляндії – Тампере. Проект являє собою інтермодальний транспортний вузол в центрі міста, а також організовує каркас для об'єднання двох частин центру міста, в даний момент розділених залізничними шляхами. Сьогодні центр міста Тампере розділений на дві половини залізницями. Цей район заповнений технічними дворами і поганими пішохідними та транспортними сполуками через залізничні колії. Проект об'єднує центр міста в єдину міську структуру і вводить новий транспортний вузол, який характеризується легкістю пересування, стійкими засобами пересування, а також послугами, які відповідають вимогам сьогоднішнього Тампере[390].

Архітекторами були розроблені 6 основних принципів роботи з ділянкою проектування:

1 – уніфікувати і об'єднати місто за рахунок розширення міської мережі;

2 – створити додатковий вуличний фронт за рахунок організації аркади, наповненої громадської функцією;

3 – організувати інтермодальний транспортний вузол – потужну точку тяжіння, яка створить і підтримає новий центр міста;

4 – сформувати Центральний парк міста Тампере – зелене «легке» для міста;

5 – створити зручний для поїздок простір, пов'язаний з існуючими міськими маршрутами;

6 – урізноманітнити та покращити околиці.

Слідуючи цим принципам, архітекторам вдалося створити комплексний проект загальною площею 120 000 кв. м, по перетворенню території залізниць з небезпечних і мало використовуваних просторів - у сучасне, наповнене сучасними функціями громадський простір, зберігши при цьому важливу для міста транспортну систему. Впроваджуючи різноманітну міську структуру, яка

простягається зі сходу на захід через залізничний двір, проект забезпечує міцну і надійну основу для об'єднання двох сторін центру міста Тампере. Проект також буде включати генеральний план для районів, що оточують залізничний двір. Новий кінотеатр, магазини роздрібної торгівлі і бутіки, а також житло і нові офісні приміщення будуть включені в план. Великі круглі отвори в структурі палуби відвідувачам дадуть хороший огляд станції нижче і створять легко зрозумілу площу станції. Проект також пропонує новий центральний парк у Тампере, розташований між старим і новим центром міста. Це буде «зелене легке у міській структурі», і стане місцем відпочинку в самому серці міста. Аркада, яка оздоблює парк, надасть громадянам активну і якісну крайову зону, яка відкриється до нового міського простору.

Ґрунтуючись на аналізі світового досвіду будівництва в контексті залізничної інфраструктури можна зробити висновок, що на територіях залізничної інфраструктури необхідно формувати багатофункціональні простори, що базуються на основних функціях: транспортно-пересадочний вузол або житло. До основних функцій, в міру необхідності і в залежності від територіальних можливостей, додаються супутні: торгівля, офіси, озеленені парки, променади, інші громадські функції. У цьому поєднанні народжується збалансована система громадського простору. Адаптація територій, якінераціонально використовуються,підштовхне до розвитку міста по всім напрямкам.

18.2 Self-recovery of the controllability of the aircraft receiving damage to external circuits in flight based on their temperature condition

Современная авиационная транспортная система (АТС) активно наращивает свою долю во внутреннем и международном пасажиро-товарообороте. Этому способствует бурное развитие нано-био-информационно-когнитивных технологий (NBIC), повышение спроса на авиационные транспортные перевозки, быстрота и надежность доставки грузов и пассажиров

в районы недоступные другим видам транспорта. Однако, наряду с этим авиационные транспортные средства подвержены воздействию случайных событий, вызывающим особые ситуации в полете. Одним из таких событий являются случайные столкновения воздушных судов (ВС) с механическими, биологическими или электрическими формированиями. Эти столкновения с внешними обводами частей ВС приводят к мгновенному изменению аэродинамического равновесия самолета в воздухе. При возникновении указанных событий экипажу (командиру) ВС требуется мгновенное принятие решения о действиях по парированию их последствий.

Известно, что интеллектуальный уровень человека слабо коррелируется с объемом его мозга. Нейрофизиологическими исследованиями, проведенными Джоном ПиланомХейнсом доказано, что активность мозга, например, при контроле действий пальцев, обнаруживается еще до того, как их владелец, собирается ими пошевелить. Промежуток времени такого упреждения может достигать от 300 миллисекунд до 10 секунд [399]. Это означает, что выбор и действие командира воздушного судна (КВС) обусловлены не разумом (самосознание и интеллект), а мозгом (биологической массой). Отсюда можно предположить, что модель действия КВС, имеющего большой предшествующий опыт и практические навыки, формируется в мозге заранее, а в критической ситуации в условиях крайнего дефицита времени, упреждая разум, заставляет его действовать по заранее сложившейся модели, такая модель не всегда соответствует реально сложившейся в полете ситуации и ее развитию. Учитывая крайне высокую быстротечность (1,5-2 секунды)развития аварийной ситуации и перехода ее в катастрофическую можно утверждать, что принять осознанное решение в такой ситуации КВС не успевает.Из приведенных факторов следует, что в случае получения в воздухе внезапных повреждений внешних обводов частей самолета в результате столкновения с механическими, биологическими или электрическими формированиями, приводящими к мгновенным изменениям равновесия сил и моментов, т.е. к потере устойчивости и управляемости, их восстановление возможно только за

счет реконфигурируемой системы автоматического управления (РСАУ), обладающей несравненно меньшим запаздыванием. Под реконфигурацией управления самолетом будем понимать: параметрическую реконфигурацию, структурную реконфигурацию, реконфигурацию аэродинамических подвижных поверхностей, реконфигурацию задания на полет. Рассматривается возможность создания РСАУ, способной диагностировать состояние внешних обводов частей самолета по температурным полям поврежденных и неповрежденных участков обшивки. Разность температур этих участков содержит информацию о моменте, месте, степени и форме повреждения и является сигналом для реконфигурации управления самолетом, адаптируя таким образомРСАУ к ОС, сложившейся в полете.

Анализ состояния безопасности полетов (БП) за последние десять лет нуждается в необходимости автоматизации процессов упреждающего диагностирования возможных внезапных повреждений внешних обводов ВС, дальнейшего их развития и перерастания аварийной ситуации в полете в катастрофическую [391,392,396].Этого можно достичь введением в автоматическое управление полетом адаптации к ситуации сложившейся в полете на основе использования результатов диагностирования состояния обводов самолета. В работе [391] рассматриваются факторы, вызывающие потерю управляемости ВС и его устойчивости в полете. Изложены методы и алгоритмы оперативного оценивания и идентификации состояния ВС и его систем. Рассмотрим процессы изменения моделей динамики, летно-технических характеристик ВС, и контуров управления или в условиях повреждения (отказа) обшивки частей его планера. Работа [392] посвящена разработке концепции самовосстанавливающейся системы управления полетом, в которой после повреждения исполнительного устройства или руля происходит реконфигурация закона управления для восстановления устойчивости и управляемости ВС. Суть концепции состоит в том, что для таких случаев строится реконфигурируемая матрица коэффициентов обратной связи. Коэффициенты рассчитываются заранее для каждого возможного

типового отказа ОУ. Новизна метода заключается в том, что для расчета коэффициентов используется алгоритм, использующий оптимизацию по квадратичному критерию и обеспечивающий устойчивость системы при различных отказах ОУ. Главный недостаток метода состоит в том, что он охватывает только повреждения (отказы) ОУ. Вторым существенным недостатком является невозможность рассчитать заранее все возможные случаи отказов и повреждений частей ВС в воздухе. В патенте [393] предложен, сконструирован и испытан датчик разницы температур поврежденной и неповрежденной частей обшивки самолета, позволяющий выявлять момент, место, степень и форму повреждения. Информацию определенным образом размещенных на поверхности частей планера, датчиков предлагается использовать для реконфигурации управления обеспечивающий восстановление устойчивости и управляемости самолета. Монография [394] посвящена разработке системных методов восстановления живучести летательных аппаратов в особых ситуациях (ОС) в полете. Дан анализ факторов, вызывающих потерю живучести ВС в полете. Предложены методы и алгоритмы оценивания и идентификации состояния ВС и его систем. Рассмотрены процессы изменения динамики и характеристик летательных аппаратов (ЛА), а также контуров управления или в ОС в полете. Приводится синтез управления, адаптивного к некоторым повреждениям планера и силовой установки ЛА. В работе [395] рассматривается возможность подавления флаттера крыльев ЛА за счет применения адаптивного регулятора, синтезированного при неизмеряемых возмущениях и немоделируемых динамиках. Обосновывается условия обеспечения отслеживания выходом объекта более высокого порядка выхода модели. В [396]работе рассматривается задача построения самовосстанавливаемой системы управления полетом (СУП) самолета, обеспечивающей заданную эффективность выполнения задачи полета в условиях отказа органов управления. Недостатки работы такие же как у работы [392]. Работа [397] посвящена разработке и летным испытаниям стратегии изменения конфигурации ЛА, обеспечивающий выживаемость

самолета за счет своевременной изоляции неисправности или повреждения в воздухе. Обнаружение и изоляция повреждений предложено осуществлять путем испытания гипотез с помощью последовательных опытов, на степень вероятности. В работе [398] исследуется вопрос возможности парирования последствий внезапных столкновений самолеты с сторонними объектами в полете за счет применения методов адаптации управления к внезапно возникшей ОС. В материалах [399] приводятся результаты нейрофизиологических исследований, проведенных в университете Калифорнии (США). Установлено, что активность мозга, например, при контроле действий пальцев, обнаруживается еще до того, как их владелец, собирается или пошевелить. Установлено, что в ряде случаев это упреждение может достигать до 10 с. В то же время недостаточно исследованными являются вопросы непрерывного мониторинга состояния внешних обводов самолете, вопросы адаптации управления полетом самолета к внезапно возникшей полетной ситуации, а также действий в таких ситуациях его экипажа.

При разработке реконфигурируемой СУП, способной восстанавливать устойчивость и управляемость ЛА в условиях внезапного повреждения внешних обводов частей его планера, критериев сохранения требуемых пилотажных свойств применительно к возможным конструктивным повреждениям и решении других задач динамики полета в сложившихся условиях требуется новый методический подход. В данной работе предлагается один из возможных вариантов решения этого вопроса. Таким образом, целью исследования является разработка на основе тепловой информационной системы, о состоянии внешних обводов частей планера, реконфигурируемой СУП способной восстанавливать устойчивость и управляемость самолета в ОС в полете.

Для достижения поставленной цели требовалось выяснить следующие вопросы:

–обосновать и построить системную структурную модель взаимосвязанных событий формирующих ОС в полете и алгоритм его нейтрализации или предотвращения перехода аварийного события в катастрофическое;

– исследовать возможность регистрации момента, места, степени, формы повреждения по разности температурных полей поврежденной и неповрежденной частей конструкции и пригодной этой информации для реконфигурации управления полетом;

–разработать математическую модель движения ЛА в условиях внезапного повреждения его внешних обводов;

– разработать структурную схему реконфигурируемого управления полетом ЛА в особых ситуациях.

Одним из важнейших факторов конкурентно способного развития авиационных перевозок является безопасность полетов (БП). Анализ [391,393,394,395,398] публикаций и результатов расследований авиационных происшествий, произошедших за последних десять лет указывают на острую необходимость пересмотра концепции обеспечения БП, учитывающую достижения в последние годы науки и техники (NBIC–технологии), растущую интенсивность полетов и плотность распределения ВС на маршрутах полета, снижения уровня подготовки пилотов и завышенный уровень иллюзий полета. Очевидно, для, этого необходимо системно связать и замкнуть все процессы развивающие в воздухе в единый замкнутый контур, т.е. произвести агрегацию всех процессов сопровождающих развитие ОС. Для этого в предлагаемой работе обоснована и разработана следующая концептуальная модель управления агрегированной системой «ЛА–экипаж–АРСУ–внешняя среда–особая ситуация» (Рис.205).

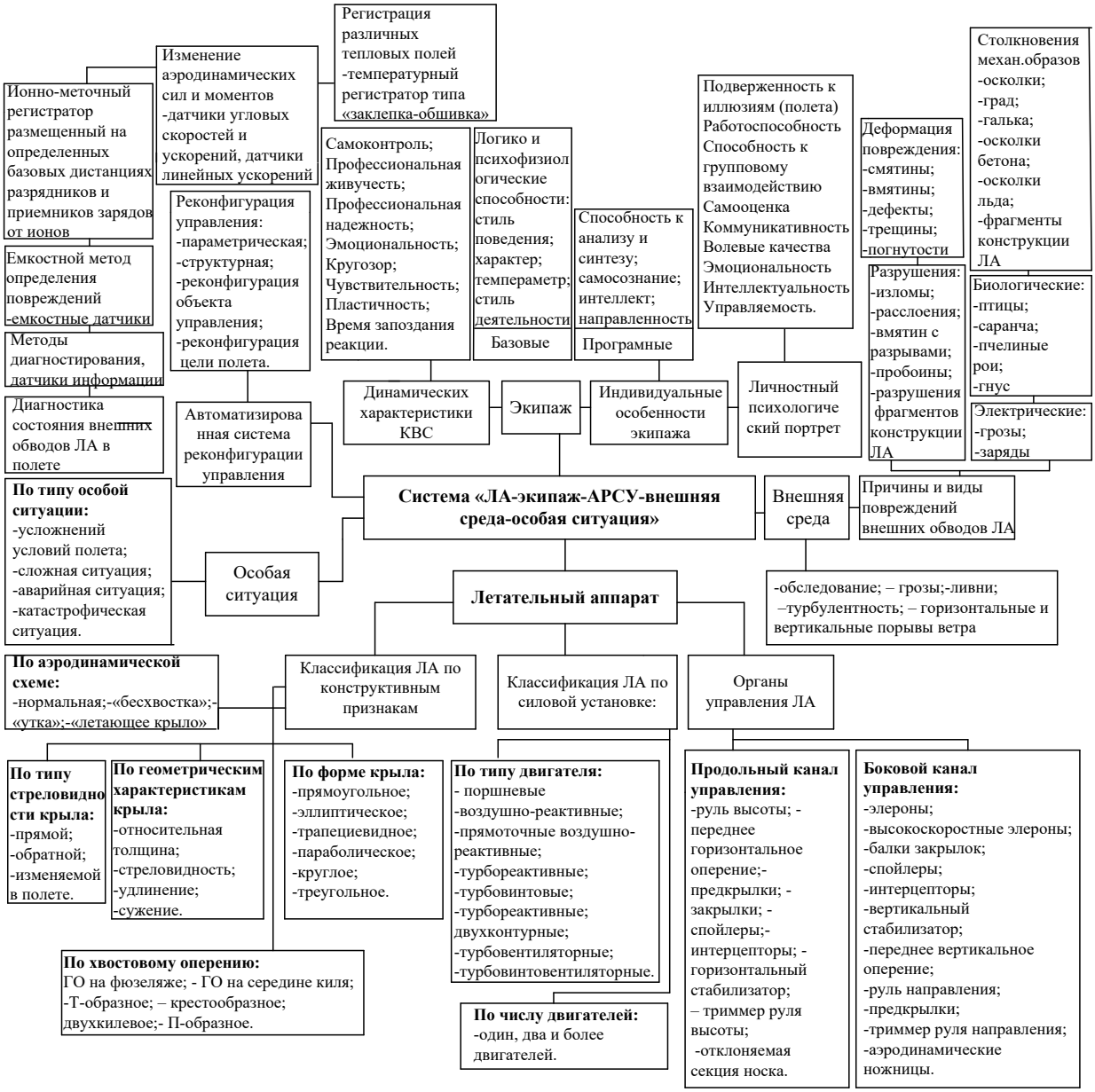


Рисунок1 Концептуальная модель управления агрегированной системой «ЛА – экипаж – АРСУ – внешняя среда – особая ситуация»

Предлагаемая концепция восстановления сохранения устойчивости управляемости ЛА в сложившейся ситуации в полете предусматривает:

– применение инновационных технологий при разработке теории, принципов и методов адаптации управления к внезапно возникшей в полете ОС;

– развитие интеллектуальных методов диагностики состояния аэродинамических обводов элементов планера и управляющих поверхностей;

– поиск путей реконфигурации управления полетом ЛА, способной восстановить (сохранить) его устойчивость и управляемость в условиях внезапного повреждения (разрушения) аэродинамической поверхности планера и органов управления;

– целенаправленное осмысление процессов протекающих в аварийных ситуациях в полете.

Математическое моделирование с применением NBIC-технологий обрело широкое развитие в практике решения научных задач. Оно, в зависимости от состоящих исследовательских задач требует построения математической модели (ММ) различной степени полноты, сложности и универсальности. Математическое моделирование поведения ВС, получившего различные повреждения аэродинамических обводов его частей, позволяет исследовать экстремальные ситуации, которые не могут быть реализованы в летных испытаниях по условиям безопасности и сохранения авиационной техники либо из-за крайне резкой их повторяемости в природных условиях.

В предложенных исследованиях оно позволило имитировать любые возможные повреждения аэродинамических обводов, вызванных различной природы внезапными внешними воздействиями в полете, а также ошибки пилотирования.

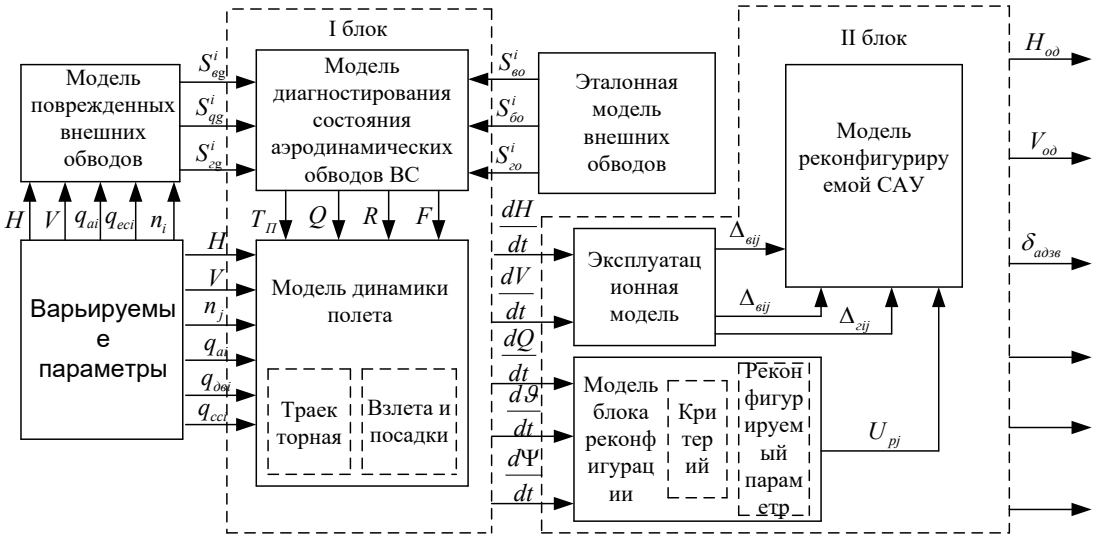


Рисунок206.Математическая модель особой ситуации в полете: H, V – весотно-скоростные параметры; σ_{ij}– отклонение аэродинамической системы

стабилизации, двигателей органов управления соответствующих -тому повреждению; n_j– повреждение j-того характера; T_{Π}, Q, R, F– момент, место, степень, характер повреждения.

Для этого была построена ММ (Рис.206), адекватность которой реальному состоянию внешних обводов ВС и полетной ситуации, вызванной их повреждениями определяется полнотой учета аэродинамических индивидуальных особенностей, тяговые характеристики силовой установки, режимов работы автоматизированной реконфигурируемой системы управления, четкого и точного мониторинга аэродинамических обводов. Работа по созданию и внедрению в практику исследований ММ является необходимым условием ускорения решения вопросов разработки методов и методик непрерывного мониторинга состояния внешних обводов в полете, построения на этой основе диагностических комплексов, способных регистрировать момент, место, степень и форму повреждений и передачи этой информации пилотам (на СОУ), а также в реконфигурируемую САУ для мгновенной адаптации к создавшейся полетной ситуации, разработки АРСУ, отвечающих требованиям ICAOи НЛГО.

Стремительное развитие IT-технологий позволило решать динамические задачи в области твердотельного моделирования. Среди программных пакетов, используемых для моделирования объектов, системы процессов могут быть употреблены для численного решения задач столкновения двух различных тел, можно выделить Ansys, Solidworks, PAM-CRASH, Abacus, LS-DYNA и друг. Время симуляции напрямую зависит от мощности ЭВМ. Поэтому чем сложнее ММ, тем больше времени требуется для получения результатов моделирования сложившейся в полете ситуации. Знание подходов к моделированию и моделей объектов и повреждений их аэродинамических обводов позволит выбрать для проведения исследований оптимальный метод и полноту ММ исходя их выше приведенных условий или разработать новую модель, исходя из требований, начальных и граничных условий.

Одним из основных направлений в предотвращении авиационных происшествий, вызванных столкновением с механическими, биологическими или электрическими образованиями является создание адаптивных САУ, способных парировать последствия этих столкновений. Обеспечение требуемого уровня адаптации управления является важной проблемой как при проектировании реконфигурируемых систем управления, и при их летной эксплуатации. Проектирование реконфигурируемых СУ полетом ВС в экстремальных условиях требует в первую очередь решения задач диагностирования состояния аэродинамических обводов его частей.

В работе исследовались основные методы регистрации повреждений аэродинамических обводов самолета.

1.Методы расчетных сеток (метод Лагранжа - Эйлера). Все физическиевеличины для контролируемой точки обводов могут быть выражены какункции ее начальных координат [402]:

$$X = x(x_0, y_0, z_0, t); Y = y(x_0, y_0, z_0, t); Z = z((x_0, y_0, z_0, t).$$

Недостатки метода Лагранжа:

–значительная деформация ячеек сетки может вызвать уменьшение временных промежутков и увеличение ошибок вычисления физических величин;

– усложнение учета скользящего взаимодействия твердых тел.

$$X = x(x, y, z, t); Y = y(x, y, z, t); Z = z(x, y, z, t).$$

Недостатки метода Эйлера:

– сложность отслеживания эволюции физических процессов;

– большие затраты времени на вычисления за цикл;

– сложность точного определения границ объекта

Недостатки метода самопроизвольных моделей Лагранжа-Эйлера:

– необходимость задавать констант движения сетки;

– значительная деформация ячеек сетки может вызвать вырождение сетки и рост числовых ошибок моделирования;

– малые ячейки требуют снижения временного шагапри вычисление.

2. Метод диагностирования на основе регистрации изменений аэродинамических сил и моментов. Суть метода состоит в том, что повреждения аэродинамических обводов ВС вызывают изменение распределенных аэродинамических сил и моментов, и, как результат, к нарушению центровки ВС (9).Из приведенного анализа наиболее распространенных методов диагностирования состояния аэродинамических обводов ВС в полете установлено, что они обладают существенными недостатками. Кроме того методы диагностирования на основе изменения аэродинамических сил и моментов оптико-электронный и емкостной слабо поддаются усовершенствованию до аппаратной реализации. Поэтому возникает потребность в разработке новых методов, или адаптации существующих методов пригодных для использования непосредственно в полете. Таким методом может стать метод регистрации температурной разницы между поврежденными и неповрежденными участками внешних обводов. Проведем более детальный анализ физических процессов сопровождающих нагрев аэродинамических обводов в полете. Аэродинамический нагрев возникает в результате трения, а также из-за адиабатического сжатия воздуха. Между поверхностью внешних обводов и пограничным слоем происходит вынужденный конвективный теплообмен, сопровождающийся теплопроводностью:

– дляустановившегося теплообмена:

$$T = f(x, y, z, \tau) = f(x, y, z, 0) \quad (1)$$

$$\frac{d2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} = 0, \quad (2)$$

– для неустановившегося теплообмена:

$$T = f(x', y', z', \tau) = f(x', y', z'); : (x', y', z') \in F; \quad (3)$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \alpha\left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2}\right), \quad (4)$$

где *x,y,z* –декартовы координатные оси; *T*–температура воздуха на внешней границе пограничного слоя; t, τ – время.

Распределение температур в пограничном слое непосредственно в близи внешних обводов является неравномерными. Так, наиболее высокая температура устанавливается на передних к набегающему потоку $q = \rho v^2/2$ участках аэродинамических обводов, где этот поток подвержен наибольшему сжатию, т.е. на передних кромках крыла и хвостового оперения, а также обтекателях ВС.

Для определения температурного поля набегающего потока воспользуемся системой уравнений: – уравнение движения газа в декартовых координатах (уравнения Новье-Стокса):

$$\rho \frac{D\omega x}{D\tau} = -\frac{d\rho}{dx} + \mu\left(\frac{d^2\omega y}{dx^2} + \frac{d^2\omega y}{dy^2} + \frac{d^2\omega y}{dz^2}\right) + \rho q x;$$

$$\rho \frac{D\omega y}{D\tau} = -\frac{d\rho}{dy} + \mu\left(\frac{d^2\omega y}{dx^2} + \frac{d^2\omega y}{dy^2} + \frac{d^2\omega y}{dz^2}\right) + \rho q y; \quad (5)$$

$$\rho \frac{D\omega z}{D\tau} = -\frac{d\rho}{dz} + \mu\left(\frac{d^2\omega z}{dx^2} + \frac{d^2\omega z}{dy^2} + \frac{d^2\omega z}{dz^2}\right) + \rho q z,$$

–уравнениеэнергии:

$$\rho C_\vartheta \frac{DT}{D\tau} = \frac{d}{dx}\left(\gamma \frac{dy}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(\gamma \frac{dT}{dy}\right) + \frac{d}{dz}\left(\gamma \frac{dT}{dz}\right) - \rho(\nabla\omega) + \mu\Phi_\omega \quad (6)$$

–уравнениенеразрывности:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + div(\rho\vartheta) = 0$$

Сделав допущение, что аэродинамическая поверхность ВС теплоизолированная, в внутренних источниках тепло отсутствует, т.е $dq_{вн} = 0$ запишем полную систему дифференциальных уравнений двухмерного пограничного слоя в сжигаемом газе.

$$\rho u \frac{du}{dx} + \rho\vartheta \frac{dy}{dy} = -\frac{d\rho}{dx} + \frac{d}{dy}\left(\mu \frac{du}{dy}\right); \frac{d(\rho u)}{dx} + \frac{d(\rho u)}{dy} = 0; \rho u C_p \frac{dT}{dx} + \rho\vartheta_p \frac{dT}{dy} = \frac{d}{dy}\left(\gamma \frac{dy}{dx}\right) + U\frac{d\rho}{dx} + \mu\left(\frac{du}{dy}\right) \quad (8)$$

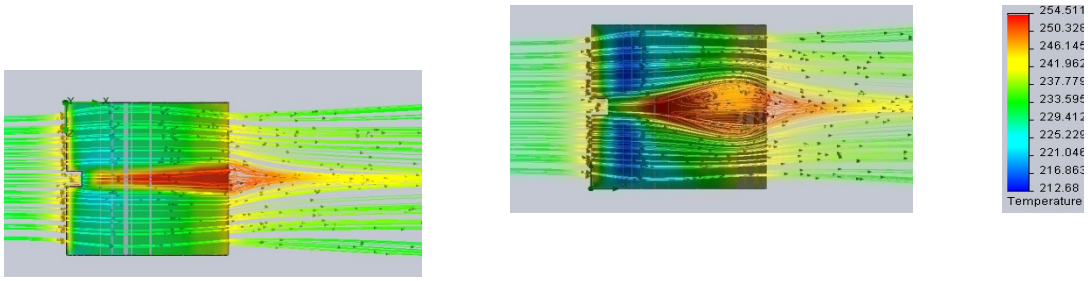
В выражениях (5-8) приняты следующие обозначения: U, x, ω – проекции вектора скорости на координатные оси; q_i – проекции вектора свободного

падения;C_p, ρ, γ, μ – соответственно теплопроводность, плотность, давление, вязкость.

Большинство сложностей ВС с посторонними объектами в полете происходит на этапах взлета и посадки, т.е. в плотных слоях атмосферы. Характер повреждений аэродинамической поверхности ВС зависит от массы стороннего объекта, скорости встречи в момент столкновения и угла встречи с преградой. В связи с этим целесообразно рассмотреть нестационарный режим теплопередачи между пограничным слоем и обшивкой внешних обводов (Рис.207).

Общее количество теплоты dQ_Σ, потраченного на нагревание внешних обводов представляет собой суму количества теплоты dQ_T от пограничного слоя, возникающей в результате турбулизации количества теплоты $dQ_{уд}$, выделяемой вследствие непосредственно удара:

$$dQ_\Sigma = dQ_T + dQ_{уд}/t' \dashv 0 \qquad (9)$$



а) б)

Рисунок207. Влияние характеристик повреждения на температурный градиент верхнем, нижнем и поперечном сечений участков обводов ВС.

Столкновение ВС с сторонними объектами в полете сопровождается преобразованием некоторой части кинетической энергии движения в тепловую, т.е. разовым выделением некоторого количества теплоты в момент удара. Часть выделенного тепла рассеивается и затрачивается на повышение температур пограничного слоя, другая часть – на повышение температуры аэродинамических обводов:

$$E_{вс} = \frac{m_{вс}V^2}{2}; \quad E_{уд} = \frac{m_{со}V_{со}^2}{2}; E_{вс} + E_{со} = E_{\Sigma} + Q_{уд} \quad (10)$$

где:$m_{вс}, m_{со}$ – соответсвенно массы ВС и стороннего объекта (формирования); $V_{вс}, V_{со}$ – соответственно полные векторы скорости ВС и стороннего объекта (формирования); $E_{вс}, E_{со}$ – соответственно кинетическая энергия ВС и удара; $Q_{уд}$– количествотеплоты, в которуюпреобразовалосьчастькинетическойэнергиии в результате удара.Следовательно, используя соотношение (10) можно определить количество теплоты выделяемой в результате удара:

$$Q_{уд} = \frac{m_{вс}m_{со}}{2(m_{вс}m_{со})}(V_{вс} - V_{со}) . \quad (11)$$

Зависимость количества теплоты, в которую перешла кинетическая энергия удара, затраченная на нагревание, от температуры образовывается за время $t_{уд}$ выразим следующим образом:

$$\frac{dQ_{уд}}{dt_{уд}} = C_{со}m_{со}\frac{dT_{уд}}{dt}, \quad (12)$$

где $C_{со}$– удельная теплоемкость стороннего обьекта (предмета).

Следовательно изменение температуры аэродинамических объектов в результате столкновения за время $t_{уд}$.

$$\frac{dQ_{уд}}{dt_{уд}} = \frac{m_{вс}}{2C_{со}(m_{вс}+m_{со}} \cdot \frac{(V_{вс}-V_{со})}{dt_{уд}}. \quad (13)$$

Кроме того, повреждениязачастуювызываютизмененииегеометрическойформыаэродинамических обводов ВС (Рис.208) в результате чегопроисходитформирование нового пограничного слоя, отличного от пограничного слоя при обтеканиинеповрежденныхвнешнихобводов.

а *б* *в* *г*

Рисунок208. Повреждения внешних обводов самолетов инородными формированиями: *а* – обрыв, *б* – пробой, *в, г* – вмятина с разрывом.

Таким образом,на основании уравнения энергии (6) и уравнениятемпературыаэродинамическихобводоввследствиестолкновения за время$t_{уд}$ (13), а такжепредполагая, что материал обшивки прогревается без запаздывания, построєна математическая модель теплопередачи:

$$\alpha\left[\gamma\left(\frac{d^2T}{dx^2}+\frac{d^2T}{dy^2}+\frac{d^2T}{dz^2}\right)-\rho(\nabla\cdot V)+\mu\Phi'\right]+\frac{m_{вс}m_{co}}{2(m_{вс}+m_{co})}\cdot\frac{(V_{вс}-V_{co})}{dt_{уд}}C_{роб}\rho_{об}C_{об}\frac{dT_{об}}{dt_{об}} \quad (14)$$

Анализ модели (14) позволяет сделать вывод: изменение количества теплоты выделяемой при столкновении обшивки ВС с инородными предметами (формированиями) зависит в первую очередь, от ускорения удара и угла встречи обшивки ВС с инородным предметом, а также от удельной теплоемкости $C_{роб}$,толщины и обьемаматериалавнешнихобводовэлементов ВС.

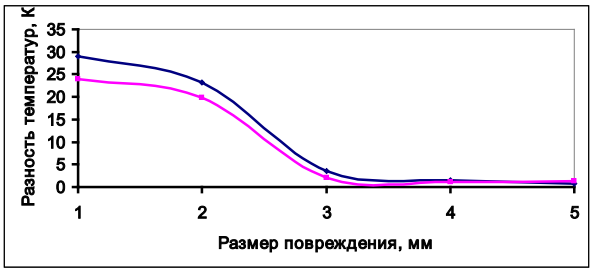


Рисунок 209. Зависимость локальной разницытемператур между поврежденным инеповрежденным участком профиля отразмера повреждения по верхнейплоскости

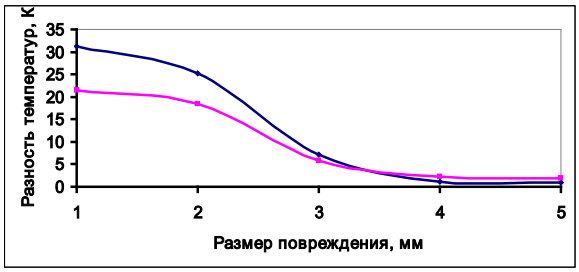


Рисунок 210. Зависимость локальной разницы температур между поврежденным и неповрежденным участком профиля от размера повреждения по нижней

профиля на 1/3 и 2/3 хорды плоскости профиля на 1/3 и 2/3 хорд

Проведенныематематические и полунатурноемоделирования фрагмента моделикрыла Ан-148 без повреждений и с повреждениями (Рис.209,210) подтвердиливозможностьдиагностированиясостояниясаэродинамическихповерхностей ВС в полете.

Следовательно, разработав метод и средствоизмерениярразности температур поврежденного и неповрежденногоучастка обшивки ВС в полете можносвоевременноизвеститьэкипаж о столкновении ВС с инородными предметами и одновременнопередатьинформацию в реконфигурируемую систему автоматизированногоуправления для адаптацииполета ВС к возникшейособойситуации.

18.3 Mathematical models of non-traction rolling stock of the railway and the condition of cargoes transported by it

The paper deals with the problem of constructing mathematical models (MM) of non-towed rolling stock (RS) of railway (wagons) and cargoes at all stages of its transportation cycle (interstations, loading and unloading operations, «sludge» and warehousing), as well as numerical methods of realization these models.

Considering the general characterization of the RS and cargo transported by it in [403], it should be noted that, from the point of view of setting and solving mathematical modelling problems, special interest should be concentrated, on the one hand - on tank wagons, covered wagons, on wagons. hoppers, and on the other - in bulk, bulk, granular and lumpy loads. This interest is due to the fact that these cargoes during the stages of the railway transportation cycle, due to their physicochemical characteristics (in particular, phase transitions and gassing caused by temperature differences; agglomerations caused by long-term compression and caking); increased hygroscopicity; be significantly negatively affected, even before the loss of marketable value (example, thickening, sintering, decomposition with the transition to other aggregates or substances), which can be predicted in x di mathematical modelling. Transport of this group of cargoes is carried out by the

above mentioned non-tracer RS (tank wagons, covered wagons, wagons and hoppers), which also necessitates the assembly of its MM. In addition, the interest in setting and solving the problems of mathematical modelling of the condition of the listed cargoes, including the prediction of their physicochemical properties at a certain time (and the corresponding non-tracer RS) derives from the conditions of transportation — mandatory «sealing» of wagons, which eliminates the possible access to goods and control (measurement) of their current state.

Thus, mathematical modelling becomes perhaps the only available tool for conducting this kind of research.

Without reducing the possibility of generalization, as an example, consider the approach to the construction of MM tank wagon with the subsequent extension of the proposed approach for the whole class of the studied RS.

The tank wagon, which has no additional equipment (as noted in the above remark), is a metal (steel) tank of cylindrical radius r and length z (Fig. 211). The area Ω in the space $\Re^n$ occupied by the liquid cargo in the cavity of the tank wagon is in a section along the axis along the latter — a rectangle (rounded in the front and back of the tank wagon design for simplicity can be neglected), the boundary of which forms a liquid «top» load, and on the sides and bottom — the walls of the tank car tank. The boundary Γ area Ω forms the closure $\overline{\Omega} = \Omega \cup \Gamma$. The length of time the cargo is in the tank wagon (taking into account the time of transport and / or temporary storage) is represented by an interval $t = [0, t_{\text{ter}}]$.

The tank of the tank wagon is characterized by the horizontal cross-section plane S_{is} and the height h of the column of liquid (cargo) being transported.

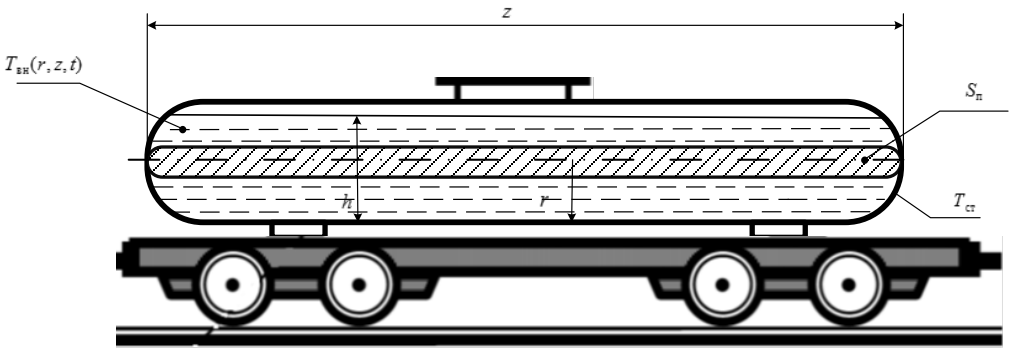


Figure 211. Calculation scheme of the tank wagon

Liquid cargo has the temperature of the inner cavity of the tank of the tank wagon $T_{\text{int}} = T_{\text{int}}(r,z,t)$, and the outer wall of the tank T_{w} can accept the ambient temperature T_{env} or be exposed to radiation T_{rad}. The volume of fluid in the cavity of the tank wagon is characterized by the initial value at the time of loading t_{in}, namely $V_{\text{in}}(t_{\text{in}})\big|_{t_{\text{п}}=0} = V_{\text{in}}$, the current value at the time t_{ter}, that is — $V_{\text{cur}}(t_{\text{ter}})$.

Taking into account the entered notation, we write the equation of material and energy (in the form of equation of temperature dynamics) balances for the tank wagon tank in the differential form:

$$S_{\text{is}} \frac{\partial h(r,z,t)}{\partial t} = \frac{V_{\text{in}} - V_{\text{cur}}(t_{\text{к}})}{t_{\text{ter}} - t_{\text{in}}} = \frac{V_{\text{in}} - V_{\text{cur}}(t_{\text{к}})}{t_{\text{ter}}}, \tag{1}$$

$$\frac{\partial T_{\text{int}}(r,z,t)}{\partial t} = -\frac{m\alpha V_{\text{cur}}(t_{\text{к}})}{\rho C_p S_{\text{п}}}\left[\frac{\partial T_{\text{int}}(r,z,t)}{\partial z} + \frac{1}{2\pi r}\frac{\partial T_{\text{int}}(r,z,t)}{\partial r}\right] -$$

$$-\frac{2\pi r m\alpha}{\rho C_p S_{\text{is}}}\left[T_{\text{w}}(t_{\text{к}}) - T_{\text{int}}(r,z,t)\right] \tag{2}$$

with the initial ones

$$V_{\text{in}}(t_{\text{in}})\big|_{t_{\text{in}}=0} = V_{\text{in}_0},\ \ V_{\text{cur}}(t_{\text{ter}})\big|_{t_{\text{ter}}=0} = V_{\text{cur}_0},$$

$$T_{\text{int}}(r,z,t)\big|_{t=0} = T_{\text{int}_0},\ \ T_{\text{w}}(t)\big|_{t=0} = T_{\text{w}_0}, \tag{3}$$

and boundary conditions

$$h(r,z,t)\big|_{r=0}=0,\ \ T_{\text{int}}(r,z,t)\big|_{r=0}=T_{\text{int}}(0,z,t),\ \ h(r,z,t)\big|_{r=2r}=2r,$$

$$T_{\text{int}}(r,z,t)\big|_{r=2r}=T_{\text{int}}(2r,z,t),\ \ T_{\text{w}}(t)=T_{\text{w}}(t_{\text{к}}),$$

$$T_{\text{w}}(t_{\text{ter}})=\left[T_{\text{env}}(t_{\text{ter}}),T_{\text{rad}}(t_{\text{ter}})\right]\ , \tag{4}$$

where m — the mass of the liquid cargo; ρ, C_p, α — respectively, the density and heat capacity of the load fluid (average values), as well as the heat transfer coefficient from the tank wall to its cavity.

Equations (1) — (4) form the MM of a tank wagon with liquid cargo (in the formulation for determining the temperature of a liquid load in the tank wagon tank). Moreover, equations (1) and (2) represent the equations of dynamics, and (3) and (4) respectively set the initial and boundary conditions.

Accordingly, it is possible to obtain MM of tank wagons and bulk cargoes, provided that for the latter the density dependence on temperature is irreversible, which is reflected in the change in the density μ of the liquid-cargo [404], and also in the case where the liquid-cargo has a characteristic property «aging», that is, the «stratification» of heterogeneous bulk cargoes from the influence of the difference in the proportion of individual fractions [405].

Adding to the consideration of previously performed studies on the prediction of the states of constituents of transport processes [403] we will *perform generalization of MM class of bulk, bulk, granular and lump loads and the corresponding non-towed RS* in which they are transported, which is necessary for the further numerical implementation of these MM under the conditions of *unification* and *typing* applied algorithmic software.

Then, as the specified generalized mathematical description of the studied class of cargoes and the non-towed RS involved in their transportation, it is permissible to accept the following equations in partial derivatives:

$$\frac{\partial\overline{\Psi}(\bar{z},t)}{\partial t}==f_i\left[\overline{\Psi}(\bar{z},t),\frac{\partial\overline{\Psi}(\bar{z},t)}{\partial z},\frac{\partial^2\overline{\Psi}(\bar{z},t)}{\partial z_j^2},\ \overline{U}_g(\bar{z},t)\right]+D_i\left(\overline{\Psi},\bar{z},t\right), \tag{5}$$

$$\forall i=1,...,k;\ \forall j=1,...,N;\ \forall(\bar{z})\in\Omega;\ \forall t\in(0,t_{\text{ter}}),\ \ \overline{\Psi}=[\Psi_1,\Psi_2,...,\Psi_k]^{\text{T}}$$

based on initial ones

$$\overline{\Psi}(\bar{z},0)=\overline{\Psi}_0(\bar{z}),\forall\ \ \forall(\bar{z})\in\Omega \tag{6}$$

and the boundary conditions of the following types::

— first-order boundary conditions, BC-1 (Dirichlet type)

$$\overline{\Psi}(\bar{z},t)\Big|_{\substack{z=0\\ z=z_{\max}}}=\varphi_i[Q(\bar{z},t)],\forall i=1,...,k;\ \forall(\bar{z})\in\Omega \tag{7}$$

— boundary conditions of the third kind, BC-3

$$\frac{\partial\overline{\Psi}(\bar{z},t)}{\partial z_j}\Bigg|_{\substack{z_j=0\\ z_j=z_{j\max}}}=\lambda_i\left[\overline{\Psi}(\bar{z},t),Q(\bar{z},t)\right],\ \forall i=1,...,k;\ \forall j=1,...,N;\ \ \forall(\bar{z})\in\Omega, \tag{8}$$

where $\overline{\Psi}(\bar{z},t)$ — continuous state functions dependent on independent time $t\in(0,t_k)$ and spatial $\forall(\bar{z})\in\Omega$ coordinates (the elements of the vector of independent spatial coordinates $\bar{z}=(z_1,z_2,...,z_N)^{\text{T}}$ may be considered the length, width and height of the covered wagon (half wagon) or the tank radius of the tank wagon and its length.); state functions $\overline{\Psi}(\bar{z},t)$ are determined by the solution of system (5) — (8), which (by definition) exists and is the only one; $\overline{U}_g(r,\bar{z}_k,t),\ g=1,...,k^*$ — distributed management functions belonging to Hilbert space $\overline{U}_{g_{\text{D}}}$ on R^{M_k}. State variables $\overline{\Psi}(\bar{z},t)$ and controls $\overline{U}_g(\bar{z},t)$ can determine different physical (in particular temperature, pressure, humidity, etc.) or geometric (example, level) values.

Functions $f_i[\cdot]$ — are continuous linear. $D_i(\overline{\Psi},\bar{z},t)=D_i\{z,t,\Psi_1(\bar{z},t),\Psi_2(\bar{z},t),...,\Psi_k(\bar{z},t)\}$ — linear functions characterizing the action of external excitatory influences; $Q(\bar{z},t),\ \forall(\bar{z})\in\Omega$ — given functions at the boundary $\partial\Omega$ of the region that can act as boundary control effects; $\lambda_i,\forall i=1,...,k$ — a parameter

that characterizes the energy properties of the elements of a RS object; N — the dimension of the vector $\bar{z}$; the parameters λ_i are determined accordingly: coefficient of thermal conductivity, coefficient of heat transfer, etc.

The relations (5) - (8) obtained will be used as a generalized mathematical description of the class of cargoes (or PCs) considered in the work, at the next solution of modeling (forecasting) problems of their dynamics.

18.4 Optimization of cargo transportation in international transport corridors by simplex method

Стратегічним завданням науково-технічної політики в області транспортної галузі держави є її вихід на світовий рівень за технічними параметрами та якістю послуг, що реалізуються транспортом. У зв'язку з цим першочерговим і пріоритетним завданням у цьому напрямку є розширення наукових досліджень з проблем створення прогресивних технологій з раціональної організації вантажних перевезень, формування та функціонування ефективної транспортної системи, розробка принципово нових систем управління з використанням сучасних інформаційних технологій.

Розробка ефективної організації доставки вантажів з узгодженістю всіх ланок транспортного процесу викликала необхідність великої кількості теоретичних і експериментальних досліджень з різних питань розвитку транспортних систем.

Актуальність досліджень визначається необхідністю підвищення ефективності перевезень вантажів у міжнародному сполученні за рахунок розробки і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу раціональної організації міжнародних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів.

Вирішенню задач підвищення ефективності перевезень вантажів у

міжнародному сполученні присвячено багато наукових праць у галузі транспортних систем, логістики і дослідження операцій. До основних характеристик транспортних мереж відносять: максимальний потік на транспортній мережі і найкоротші відстані на транспортній мережі. Для вирішення задачі по оптимізації транспортної мережі треба мати можливість звести мережеве представлення транспортної задачі до матричної форми, для якої існує практичний математичний апарат оптимізації перевезень [406, 407].

Спробуємо побудувати за допомогою лінійного програмування (ЛП) оптимальний план перевезень [406] контейнерів від заводів, котрі розташовані у м. Ніжині і м. Сумах,до складів (міста розташування ум. Жешув, м. Київ,м. Чернігів та м. Конотоп) для прикладу, наведеного у табл.45.

Таблиця 45.

Таблична форма запису транспортної таблиці

Заводи	Склади								Наявність контейнерів (од.)
	Жещув (*A*)		Київ (*B*)		Чернігів (*C*)		Конотоп (*D*)		
Ніжин (I)		2,1		1,7		1,3		0,3	350
Суми (II)		2,5		1,8		1,4		0,7	650
Потреба у контейнерах(од.)	300		300		300		100		

У задачі є багато можливих рішень. Спробуємо скласти план експертним шляхом, не користуючись точними методами. Перш за все вигідніше відправляти контейнери з заводів на склад до Конотопа (*D*), томущо вартість перевезення тоді буде найнижчою. З огляду на це, розподілимо контейнери з заводів до складу у Конотопі обернено пропорційно вартостям їхніх перевезень до нього. Обсяг відправлення до складу *D* вичерпаний. Аналогічно цьому і з

тієї ж причини розподілимо контейнери, що залишилися на заводі I (350-70=280), між складами *A, B,* і *C*. Потреби складів *A, B,* і *C* задовольнимо за рахунок контейнерів, що залишилися на заводі II (650-30=620).

Таким чином, ми одержали план перевезень, поданий у табл.46. Сумарна вартість перевезень при цьому становитиме:

70×2,1+95×1,7+115×1,3+70×0,3+230×2,5+205×1,8+185×1,4+30×0,7=1703у.г.о.

Складаючи план, микерувались логічними міркуваннями. Однак, чи отримана мінімальна вартість перевезення? Чи немає можливості поліпшити план і знизити загальну вартість? Навіть, аналізуючи невеликі транспортні таблиці (ТТ), ми не завжди знаходимо оптимальне рішення, а в ТТ більшої розмірності це зробити практично неможливо.

Таблиця46.

План перевезень, складений експертним шляхом

Заводи	Склади								Наявність контейнерів
	Жещув (*A*)		Київ (*B*)		Чернігів (*C*)		Конотоп (*D*)		
Ніжин (I)		2,1		1,7		1,3		0,3	350
	70		**95**		**115**		**70**		
Суми (II)		2,5		1,8		1,4		0,7	650
	230		**205**		**185**		**30**		
Потреба у контейнерах(од.)	300		300		300		100		Вартість = **1703**

Підійдемо тепер до розв’язання цієї задачі за допомогою математичних методів. Буквою *x* (табл. 3) з відповідними індексами позначимо потрібні нам кореспонденції (розміри перевезень) з кожного заводу на кожний склад. Перша цифра індексу означає номер заводу, а друга – номер складу. Кількість невідомих дорівнює добутку числа заводів на число складів і становитиме в нашому прикладі 2×4=8, а у загальному випадку $m \times n$, де m – число відправників однорідного вантажу і n – загальне число його одержувачів.

Складемо рівняння матеріального балансу [407] по двох рядкахта чотирьомстовпцям таблиці 47.

Таблиця 47.

Транспортна задача у вигляді матриці кореспонденцій

Заводи	Склади								Наявність контейнерів (од.)
	Жещув (*A*)		Київ (*B*)		Чернігів (*C*)		Конотоп (*D*)		
Ніжин (I)		2,1		1,7		1,3		0,3	a_1
	x_{11}		x_{12}		x_{13}		x_{14}		
Суми (II)		2,5		1,8		1,4		0,7	a_2
	x_{21}		x_{22}		x_{23}		x_{24}		
Потреба у контейнерах(од.)	b_1		b_2		b_3		b_4		

У перших двох рівняннях записано, що розміри перевезень з кожного заводу на всі склади дорівнюють наявності контейнерів на ньому, а в останніх чотирьох – що розміри відправлення контейнерів з усіх заводів на даний склад дорівнюють величині потреби в контейнерах на ньому. Усього шість рівнянь:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 350, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 650, \\ x_{11} + x_{21} = 300, \\ x_{12} + x_{22} = 300, \\ x_{13} + x_{23} = 300, \\ x_{14} + x_{24} = 100. \end{cases} \quad (1)$$

Однак загальні обсяги наявності контейнерів на заводах дорівнюють загальним обсягам потреб у них на складах, тому сума двох перших рівнянь дорівнює сумі чотирьох останніх. Як відомо, у такому випадку одне з рівнянь (байдуже яке) є комбінацією інших, тому воно (наприклад, друге) зайве і його можна відкинути.

Таким чином, сформулювавши алгебраїчні умови матеріального балансу, які враховують вимоги у використанні усіх ресурсів, ми одержали систему з п'яти рівнянь із вісьмома невідомими. Система, у якій кількість невідомих більше кількості рівнянь, має безліч рішень (у нашому випадку – варіантів плану перевезень). Введемо додаткову природну умову фізичної сутності транспортної задачі: жодна кореспонденція не може бути негативним числом, вона або дорівнює нулю (перевезень немає), або більша за нуль (перевезення є). Тоді математично всі рішення, що мають негативні числа, відпадуть. Запишемо цю умову таким чином:

$$x_{11}\geq 0;\ x_{12}\geq 0;\ x_{13}\geq 0;\ x_{14}\geq 0;\ x_{21}\geq 0;\ x_{22}\geq 0;\ x_{23}\geq 0;\ x_{24}\geq 0, \quad (2)$$

або у загальному випадку:

$$x_{ij} \geq 0\ (i = 1, 2; \quad j = 1, 2, 3, 4).$$

Нарешті, необхідно, щоб загальна вартість перевезень набула мінімального значення:

$$\begin{aligned} c = 2{,}1 \times x_{11} + 1{,}7 \times x_{12} + 1{,}3 \times x_{13} + 0{,}3 \times x_{14} + \\ + 2{,}5 \times x_{21} + 1{,}8 \times x_{22} + 1{,}4 \times x_{23} + 0{,}7 \times x_{24}\ . \end{aligned} \quad (3)$$

Поставлені нами умови можна скорочено записати у такому вигляді:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i\ (i = 1, 2, \dots, m), \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j\ (j = 1, 2, \dots, n), \quad (6)$$

$$x_{ij} \geq 0\ (i = 1, m; \quad j = 1, n), \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \times c_{ij} = min, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j, \quad (9)$$

деa_i– обсяг вантажу, який є в *i-го* постачальника;

b_j– обсяг вантажу, який потрібен *j-му* споживачу;

c_{ij}– вартість перевезення одиниці вантажу від *i-го* постачальника *j-му* споживачу.

Вектор-рядки коефіцієнтів при невідомих у п'яти перших рівняннях системи(1), як правило, лінійно незалежні і утворюють систему координат або базис. Можливим базисним назвемо таке рішення, у якому кількість кореспонденцій (ненульових потоків) дорівнює кількості лінійно незалежних векторів системи рівнянь. У теорії лінійного програмування існує теорема[407], яку наведемо без доказу.

Завжди можна знайти оптимальне – базисне рішення транспортної задачі, в якому кількість кореспонденцій не буде перевищувати m+n – 1.

У деяких випадках можна отримати кілька оптимальних рішень, але всі вони будуть з мінімумом транспортних видатків. У табл.48 наведено одне з базисних рішеньтранспортної задачі (ТЗ) (знайдене за методом північно-західного кута)[407].

Спробуємо знайти шляхи для його поліпшення. Кількість кореспонденцій дорівнює кількості лінійно незалежних векторів, тобто п'яти. Загальна вартість перевезення становить:300×2.1+50×1.7 + 250×1.8 + 300×1.4 + 100×1.7 = *1655у.г.о.*Запишемо змінні x_{ij} у зайнятих клітинках, використовуючи систему рівнянь (1), таким чином.

Таблиця48.

Одне з базисних рішень ТЗ	Склади				Наявність контейнерів (од.)
	Жещув (*A*)	Київ (*B*)	Чернігів (*C*)	Конотоп (*D*)	
Ніжин (I)	2,1	1,7	1,3	0,3	350

	300	**50**			
Суми (II)	2,5	1,8 **250**	1,4 **300**	0,7 **100**	650
Потреба у контейнерах(од.)	300	300	300	100	Вартість = **1655**

$$\begin{cases} x_{11} = 300 - x_{21} \\ x_{12} = 350 - x_{11} - x_{13} - x_{14} = 350 - (300 - x_{21}) - x_{13} - x_{14} = 50 + x_{21} - x_{13} - x_{14} \\ x_{22} = 300 - x_{12} = 300 - (50 + x_{21} - x_{13} - x_{14}) = 250 - x_{21} + x_{13} + x_{14} \\ x_{23} = 300 - x_{13} \\ x_{24} = 100 - x_{14} \end{cases} \qquad (10)$$

Підрахуємо вартість перевезень, використовуючи значення в правій частині рівнянь:

$$\begin{aligned} c &= 2{,}1 \cdot x_{11} + 1{,}7 \cdot x_{12} + 1{,}8 \cdot x_{22} + 1{,}4 \cdot x_{23} + 0{,}7 \cdot x_{24} = \\ &= 2{,}1 \cdot (300 - x_{21}) + 1{,}7 \cdot (50 + x_{21} - x_{13} - x_{14}) + 1{,}8 \cdot (250 - x_{21} + x_{13} + x_{14}) + \\ &+ 1{,}4 \cdot (300 - x_{13}) + 0{,}7 \cdot (100 - x_{14}) = 630 - 2{,}1x_{21} + 85 + 1{,}7x_{21} - 1{,}7x_{13} - 1{,}7x_{14} + \\ &+ 450 - 1{,}8x_{21} + 1{,}8x_{13} + 1{,}8x_{14} + 420 - 1{,}4x_{13} + 70 - 0{,}7x_{14} = \\ &= 1655 - 2{,}2x_{21} - 1{,}3x_{13} - 0{,}6x_{14} \ . \end{aligned}$$

Однак поки ми не враховували вартості перевезень у вільних клітинках. Введемо їх до формули вартості:

$$\begin{aligned} c &= 1655 - 2{,}2x_{21} - 1{,}3x_{13} - 0{,}6x_{14} + 1{,}3x_{13} + 0{,}3x_{14} + 2{,}5x_{21} = \\ &= 1655 + 0{,}3x_{21} - 0{,}3x_{14} \ . \end{aligned}$$

Значення x_{ij} у позитивних членах формули нам вигідно прирівняти до нуля, томущо збільшення, наприклад, значення x_{21}, призведе до збільшення вартості перевезень пропорційно коефіцієнту *0,3*. Негативний же член формули показує, що, якщо збільшити його значення, то загальна вартість перевезення зменшиться також пропорційно коефіцієнту при ньому. (Якщо у формулі вартості кілька негативних членів, вибираємо член з найбільшою абсолютною величиною коефіцієнта – для нашого випадку це єдиний x_{14}). Тому цей член треба збільшувати якнайбільше. Однак при цьому не можна допустити, щоб

будь-яка інша кореспонденція набула негативного значення. Щоб визначити найбільший можливий розмір кореспонденції x_{14}, розглянемо друге і п'яте рівняння системи(1), у які вона входить зі знаком мінус. Очевидно, якщо x_{14} дорівнюватиме 50, то x_{12} обернеться на нуль. Для того, щоб зберегти баланс перевезень, по другомустовпцю необхідно додати 50 одиниць вантажу кореспонденції x_{22}, а для балансу у четвертомустовпці, навпаки необхідно від кореспонденції x_{24} відняти 50 одиниць вантажу. Побудуємо поліпшений план перевезень (табл.5) і виразимо змінні x_{ij} у зайнятих клітинках, використовуючи систему рівнянь (1).

Повернемося до системи рівнянь (1) і складемо матрицю коефіцієнтів за умови, що в перших п’яти рівняннях, є невідомі (ситуація не зміниться, навіть, якщо взяти будь-які інші п’ять рівнянь (табл. 49).

$$\begin{cases} x_{11} = 300 - x_{21}\ , \\ x_{22} = 300 - x_{12}\ , \\ x_{23} = 300 - x_{13}\ , \\ x_{14} = 350 - x_{11} - x_{12} - x_{13} = 350 - (300 - x_{21}) - x_{12} - x_{13} = 50 + x_{21} - x_{12} - x_{13}\ , \\ x_{24} = 100 - x_{14} = 50 - x_{21} + x_{12} + x_{13}\ . \end{cases}$$

Загальна вартість перевезення дорівнює: $c = 1640 + 0{,}3x_{12} + 0{,}3x_{13}$.

У формулі немає негативних членів, а це означає, що поліпшити план перевезень (див. табл.5) і знизити їхню загальну вартість, неможливо. Отримане оптимальне рішення в *1640у.г.о.*, що порівняно з табл. 8 (*1655у.г.о.*) дає економію близько 1 %, а з табл. 6 (*1703у.г.о.*) – 4 %.

Таблиця 49.

Матриця коефіцієнтів

x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}
1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1

1	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0

Поліпшений (оптимальний) план перевезень для транспортної задачі наведено у табл. 50.

Таблиця 50.

Поліпшений (оптимальний) план перевезень ТЗ

Заводи	Склади				Наявність контейнерів (од.)
	Жещув (*A*)	Київ (*B*)	Чернігів (*C*)	Конотоп (*D*)	
Ніжин (I)	2,1 **300**	1,7	1,3	0,3 **50**	350
Суми (II)	2,5	1,8 **300**	1,4 **300**	0,7 **50**	650
Потреба у контейнерах(од.)	300	300	300	100	Вартість = **1640**

Таким чином, розв'язання транспортної задачі за допомогою симплексного методу – основного методу рішення загальної задачі лінійного програмування, таки дає необхідний результат, але за більш довгий час розрахунків.

Опис моделі перевезень у транспортній системі дає можливість системно підійти до задачі оптимізації транспортних перевезень вантажів з урахуванням усього спектра обмежень, що існують у системах подібного роду. Використання в процесі знаходження оптимального плану вантажних перевезень маршрутів міжнародних транспортних коридорів дозволяє значною мірою підвищити якість рішень, які приймаються.

18.5 Development of railway station architecture complexes of the small cities

It is necessary to know the history of railway station complexes formation to understand their development. Origins and stages of formation of railway station architecture are considered in this research

Railway station complexes have high architectural, artistic and compositional significance. Their spatial environment is shaped by communication processes. For a small city, the RSC also represents its capabilities, cultural and historical identity. The station complex is an element of the relationship between the dynamic external world and the special internal world of the city. Among the various studies of transport structures it is necessary to highlight several authors, works, which are displayed by the main "turns" of development and transformation of the architecture of railway station complexes: Ozhegov S. S., Zaporozhtsev G.P., Herceg K., Batyrev V.M. [409-412].

The history of development of road structures reveals the diversity of transport facilities, from the construction of "postal stations" of the 19th century to modern multifunctional centers, where all kinds of transport and public functions are united. All this time the search for expressive form of transport structures is carried out. The station complex acts as one of the main compositional dominant in the spatial structure of the city. Studies show that the architectural-shaped characteristics of the RSC are largely determined both by the historical prerequisites of their formation and by modern trends in the development of the city. So, for example, due to the role of the station complex in the life of the city, it is possible to observe the fundamentally changed appearance of the building - the choice of modern stylistics during reconstruction (fig.212).

Figure 212. Station complex of Priluki, Chernihiv region before and after.

In Bahmach the station of the beginning of the 20th century is different from Station complex rebuilt in the second half of the 20th century in the style of Ukrainian Baroque (fig.213).

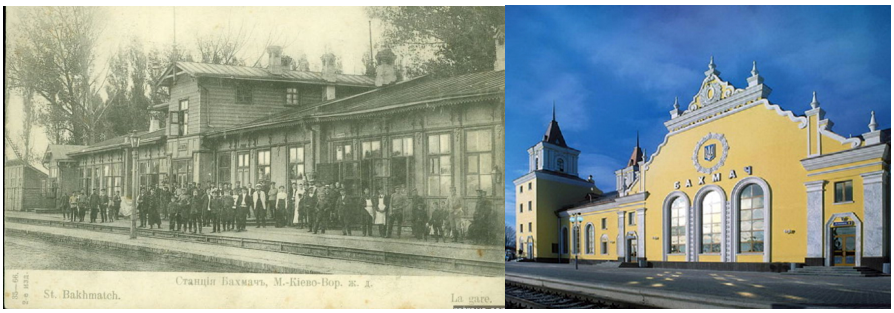


Figure 213. Station complex Bakhmach Chernihiv region.

The model of railway station complexes was roadside structures - postal tracts, and their elements - postal yards, which arise during the period of large construction works on reconstruction of cities of the Russian Empire in the beginning of the 19th century. The projects were carried out under the road structures models. The emergence of this type of structures has predetermined the volume construction of railway station complexes and have become the ancestors of typical road construction.[411 p.135].On the one hand, separate postal yards, standing at a long distance from each other, needed to be combined into an entire ensemble of postal tract, sometimes stretched over many hundreds of kilometers. On the other hand, each of the post yards was in a specific architectural and natural environment, was a complete whole and was often the main architectural structure of the settlement. Thus, the plan used in the construction of postal stations became canonical for station complexes of small cities later, the characteristics of which we can observe

throughout the territory of Ukraine, Russia and Belarus. The central part of the complex is occupied by a passenger building that included passenger check-in rooms, a kitchen, and hotel-type rooms. Each of the postal stations was a whole complex of buildings. It had a strictly symmetrical construction and occupied a large section. All yards were delivered by the front along the highway, retreating 20 to 30 m from it (fig.214) [411].

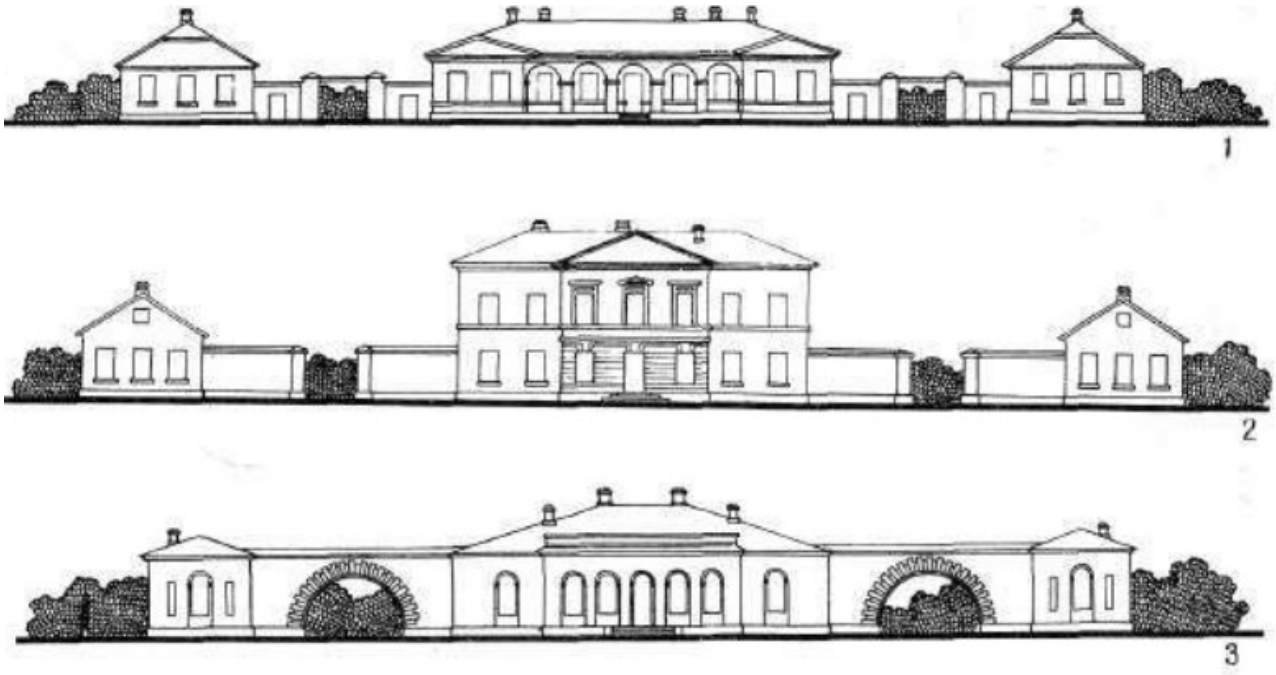


Figure 214. Standard post stations of the beginning of the 19th century on the main road St. Petersburg Narva.

The same principle of volume composition with simple elements is visible in the system of construction of railway station complexes: central passenger building, on the sides of the building of auxiliary services. The composition of the RSC is also supported by the square and the car parks, entrances, a complex of public service buildings (cafes, shops) adjacent to it along the perimeter. Along with utilitarian issues were solved not only the architecture of mail stations, but also the architectural design of the postal tract. And already in the design of railway stations in 50 years to the present day, tasks remain the same - the correct integration of the complex into the city structure and identification of their architectural and artistic features, the holistic design of highways. Thus, the composite scheme of the construction of the

station complex of a small city resembles the construction of post yards as a linear composition along the transport highway (fig.215,216).

Figure 215. Station complex of. Lviv region.

Figure 216. Station complex Mr. Krasnograd of the Kharkiv region.

It should be noted that for small towns located on the rail transport network, the RSC plays a crucial dominant role, as a bright compositional accent on both the city and rail sides. Examples are RSCs of cities such as Yasinovataya of Donetsk region, Kovel of the Volynsk region, Krasnor and Kupyansk of Kharkov region, Strye and Drogobich of Lviv region, Yagotin of Kiev region and many others. So, the formation of such type of buildings as railway stations, at the stage should be noted continuity of their compositional construction to postal stations and based on this formation of the following principles:

- Complexity of constructions.
- Integrity of railway line ensemble.
- Dominant in the structure of the city.

A further stage in the development of the architecture of railway station complexes of small cities was the period of mass reconstruction of station complexes

of small cities after World War II. Similar principles of typical design of railway station complexes for destroyed railway stations of small cities were also applied [410]. During this period, model projects were developed for various railway highways and many railway stations were restored based on the principles of mail path construction developed earlier (fig. 217,218)

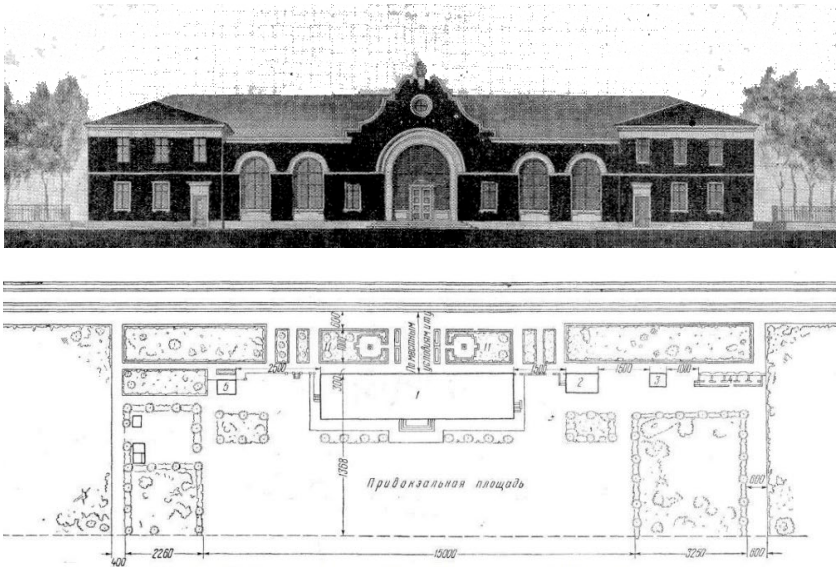


Figure 217. The standard project of the station on 200 passengers a facade and the general plan.

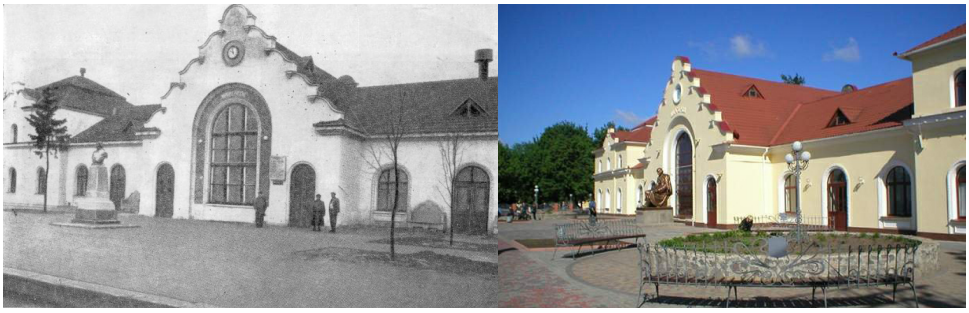


Figure 218. Station Mirgorod, Poltava region immediately after construction (left) and modern view (right).

There was an active construction of railway highways in 60-70th of the 20th century (Baku-Amur Highway (BAH) and Belgrade-Bar Highway). For the implementation of these large-scale projects many specialists were involved, architectural competitions were held to find the optimal scheme of construction of station complexes. Then the following principles of development of railway station complexes were worked out:

- Relationships with the natural environment.
- Contextualities to national culture.

The development of RSC was also primarily due to the strengthening of their dominant city-forming role as a hub of external transport. The structure of the newly built complex includes, in addition to the station building, station buildings, well-equipped recreational areas, trade and public service facilities, residential buildings, educational institutions and medical centers (fig.6). The principle of cooperation of the station complex with the city service system was laid down during this period. The historical and cultural features of the populated place were still considered in forming the artistic image of small station structures. This influenced the formation in plastic and color range of facades and interiors - national architectural forms, ornamentation, thematic monumental-decorative decoration. The principle of the integrity of the railway line ensemble was also applied in the construction of small railway stations of this period, for example, in the solution of facades of buildings contrasting with its details (fig. 219,220) [409,412].

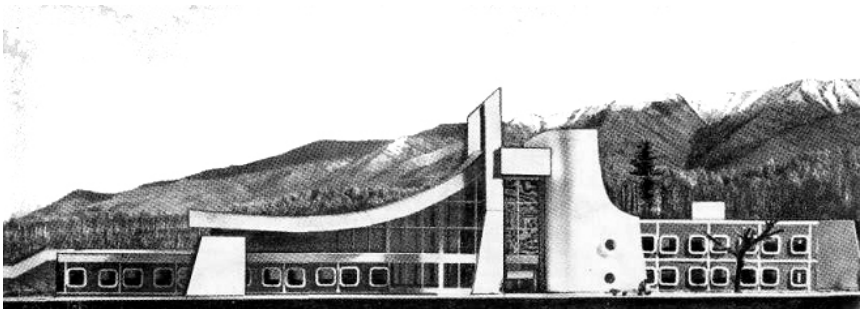


Figure 219. Station complex of sivrobaykalsk routes BAM.

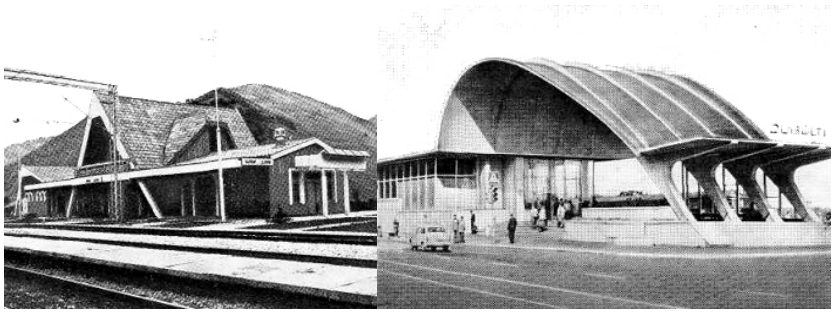


Figure 220. A station complex Mr. Zlatibor on the line Belgrade - bar (at the left) the city of Dubulta (on the right).

Attention should be paid to the composite reception, which creates a convenient and shortest connection of the private area with the platforms, as well as organizes places for waiting and accumulation of people before boarding the train while analyzing the spatial solutions of small and medium-sized railway stations. Such a

space, arranged in the form of galleries or a through passage in the building, is usually combined with the premises of the station by the general structure of the roof or floor and becomes its integral part. Examples are the train stations of the cities of Meref, Lubotin, Kolyya, Drogobich, etc. (fig. 215,221,222). In the further development of the architecture of station complexes, such a reception has become widespread.

Figure 221. Station complex of Mr. Meref of the Kharkiv region.

Figure 222. Station complex Kolomyya of the Ivano-Frankivsk region.

Further transformations in the socio-political and economic activities of the country have increased the need for self-identification of all populated places. This applies to small and medium-sized cities, since this is due to the search for a city-forming base for their development. Railway station complexes became such elements. Railway station complexes became such elements. So, the development of the architecture of station complexes reflects the general socio-economic development of the country, the historical context, the world trends in the development of the architectural and construction industry as a whole.

18.6 Improving the formation of the recreational environment for children in the influence area of the small railway on the example of ukraine

This article sets forth the concept of creating a recreation complex of “Mini-Disneyland” type near the terminal station of the Small Southern Railway in the Sokolniki-Pomerki forest park zone, Kharkiv, Ukraine. Recommendations are given on the formation of its planning structure, taking into account the priority age groups of children visiting the children's railway

The problem of organizing recreational activities for children in Ukrainian cities is one of the most pressing due to the new socio-economic conditions for the country's development. The infrastructure for organizing children's recreation in the cities, which was created at the end of the 20th century, has actually been destroyed and is not functioning.

There is now a need to improve the organization of children’s recreation in the urban environment, identifying the existing recreational potential. The children's railways operating in many cities of Ukraine have such recreational potential. Their departmental affiliation allows them to function successfully within the market economy, but the organization of children's recreation in the influence area of children's railways should be more effective. Therefore, it is necessary to find new methods of organizing recreational environment for children.

An analysis of works on this issue shows that both theoretical architects and practitioners have paid attention to the formation of a recreational environment for children. The landscape aspect of recreational objects prevails in most works. In addition, many of the works are outdated because they consider recreational objects which functioning was oriented to the conditions of the total state and planned economy.

The purpose of this study is to provide suggestions for improving the formation of recreational environment for children in the zone of influence of the Small Southern Railway in Kharkiv, Ukraine.

The Small Southern Railway performs not only an educational function, but also a recreational one. Its passengers are children of all age groups as well as adults. Their leisure could be more interesting and eventful. For this purpose, the reconstruction of the Small Southern Railway is necessary. The Small Southern Railway can become especially attractive if a recreational complex of “Mini Disneyland” type is placed on the territory of its terminal station "Lesopark".

Based on this purpose, the following research objectives were defined:

1. To identify the priority age group of visitors of the Small Southern Railway.
2. To develop the concept of “Mini Disneyland” recreational complex creation in the influence area of the Small Southern Railway with real project proposals.

To accomplish the objectives and identify features of the recreational complex in Sokolniki Pomerki Forest Park, a special questionnaire was developed to survey visitors of the Small Southern Railway.

The questionnaire revealed the traditional allocation of childhood periods, namely: toddler age − 1-3 years; preschool age − 3-7 years; younger schoolchildren − 7-11 years; older schoolchildren − 11-15 years; teenagers − 15-17 years.

As a result of sociological research, priority age groups of children have been identified. These are the ages of 3-7 years and 7-11 years. Therefore, children's recreational complex should necessarily include areas for children of these age groups.

Furthermore, the questionnaire included a question to identify the service radius of the children's railway.

Since the children's railway is located in a forest park, it is necessary to take into account the specifics of children's recreation in the natural environment when forming a recreational complex.

The main task of children's recreation in the natural environment is, first of all, to create favorable microclimatic conditions, ensure active contact with the natural environment, organize recreational environment with entertainment, health and educational functions.

Therefore, during the architectural and artistic formation of the children's recreational complex it is necessary to provide:

– integrated design approach;

– taking into account age-specific features of children's development;

– the use of geoplastics, water devices, landscaping for optimal recreation conditions for all age groups of children;

– originality, artistic imagery of children's theme areas solution;

– maximum use of visual and graphic design tools;

– equipment diversity combined with landscaping for year-round site use;

– the creation of continuous landscaping and flowering zones using glades, lawns, alpine gardens, rockeries, etc.;

– the use of lighting effects in the design of thematic areas, entrances, flowerbeds, tree crowns and shrubs;

– use of national motifs in decorating the recreational environment;

– inclusion of sculptures (park, animalistic) in the decoration of the complex territory;

– technical equipment of the territory (diffused and directed lighting, music accompaniment of children's outdoor activities, holidays and entertainment, etc.).;

The greatest attention at formation of a recreational complex should be given to its equipment.

It is well known that children are most susceptible to environmental influences. The space artificially created for children may in one case be an incentive for their development, in another case - a physical obstacle to the manifestation of creative fantasy, personality, negatively affect the relationship between children in the team.

When developing an environment for children, it is necessary, first of all, to rely on pedagogical recommendations and take into account the peculiarities of the age development of children. This approach will create a holistic environment that includes integrated elements of architectural and natural environment.

In this regard, play equipment should respond to the child's aspiration for adequate creative activity and contribute to the expansion of his or her outlook and mental and physical development.

A consistent trend in the design of children's play equipment is the use of zoomorphic and biomorphic motifs. Attempts to create an artistic image of the play environment are manifested not only in addressing the zoomorphic and biomorphic motifs, but also in other techniques - the use of stories from children's fairy tales, characters of adventure literature, i.e. attraction of children's favorite images.

The shapes and materials must blend seamlessly with the natural environment. The creation of “Mini Disneyland” near the terminal station of the Small Southern Railway is envisaged taking into account the outlined features of the formation of recreational complexes in the natural environment.

One of the most important qualities of the proposed recreational complex is its multifunctionality, i.e. the ability to meet the various play needs of children, taking into account their age development.

The projected children's recreational complex is a compact recreational space with a clear planning structure and a variety of recreational equipment.

From this study, the following conclusions can be drawn:

1. The priority age groups for children attending the Small Southern Railway have been established to be pre-school children (3-7 years) and younger schoolchildren (7-11 years). The requirements for the architectural and landscape organization of the recreational complex in the influence area of the children's railway should, first of all, take into account the priority recreational needs of these age groups of children.

2. It is defined that according to features of the organisation of children's recreation in the natural environment the children's recreational complex should have a planning structure with use of a picturesque landscape lay-out. Its compositional core in terms of function and binding element should be the central square and the main alley.

In accordance with children's play needs, the recreational complex should include the following areas:

Active games area. It can be placed on one or more (isolated) sites or glades and include equipment for children's physical development.

Theme games area. These are all kinds of children's playgrounds, marine, zoological, adventure, fairytale, etc. with play equipment for climbing, creeping, crawling, moving and a certain thematic focus in the formation of the artistic image.

Fairytale area. It can be independent or combined with any of the named areas. Most often, there is a decorative sculpture, symbolizing the characters of children's fairy tales. Such game pieces can be intended both for visual perception, and for game activity.

Didactic games area. It should be a local playground with children's equipment: tables and chairs for all kinds of creative activities.

Landscape and recreation area should be a green area with small glades with an interesting species exposure.

The administrative zone includes an administrative building, which should be located near the main entrance, utility rooms for servicing the recreational complex (warehouses, garages, workshops).

3. The developed “Mini Disneyland” type recreational complex located in the Forest Park includes all the above mentioned areas with a bright artistic image, which provides thematic sectors with a variety of equipment.

Such recreational complex will contribute to improving the organization of children's recreation in the influence area of the Small Southern Railway.

18.7 Features of renovation and humanization pedestrian and transport infrastructure of the city

Pedestrian infrastructure is a combination of communication spaces of the city with environmental facilities intended for walking movements of various ranges, durations and target directions.

This system interconnects various objects of attraction of the city and is a component of the pedestrian and transport infrastructure of the urban environment as a whole.

Pedestrian infrastructure in conjunction with transport infrastructure makes up a single communication and planning structure of the city.

It should be created taking into account the main directions of humanization of its subject-spatial environment. [416;419;420]

Pedestrian organization should to devote particular attention to:

– in small cities where the bulk of the movement is on foot;

– in the centers of large and largest cities, where social life is focused and pedestrian flows of considerable size are concentrated;

– in residential areas, where the bulk of the cultural and domestic walking movements are carried out, as well as most of the movements of an independent population group (elderly people and children).

Safety requirements make it necessary to isolate pedestrian and traffic movements in the city from each other, to separate pedestrian and traffic flows.

There are three methods of breeding pedestrian and traffic flows:

– temporary (time dilution: traffic light, regulator)

– vertically (underground and elevated crossings, transport overpasses, pedestrian platforms, etc.);

– planning or urban planning (dilution of flows in the plan with a minimum cross section).

The organization of the pedestrian traffic system in the city is based, first of all, on the pedestrian accessibility of public transport.

The formation of the urban environment on the principle of pedestrian access implies the creation of a network of main streets with public transport routes so that all residential areas and the entire population are within walking distance from the stops of the route network. [421] The distance from the farthest point of a residential development to the main street should not exceed 500 m in the central and middle

zones (high-rise buildings) and 750 m in the peripheral zones and low-rise areas. [417]

Today, the experience of European cities allows us to outline a number of general principles on which the practice of creating a pedestrian infrastructure of a city is based: [418]

– a flexible interpretation of the concept, a variety of forms of organization (pedestrian streets and spaces, territories of "comfortable" "quiet" traffic);

– the development of interconnected systems between objects of mass gravity, places of rest, on pedestrian transit and tourist and walking routes without isolation of local zones;

– a large typological gradation of elements of the urban environment included in pedestrian systems, in particular, intra-quarter spaces and landscapes;

– functionality that provides ease of movement, clear zoning, widespread use;

– the social attractiveness of the environment, combining traditional values and the dynamics of modern life; balance of public, collective, and private zones;

– protection of the integrity of the urban environment: the nature of landscaping and urban equipment, the inadmissibility of large-format advertising, the regulation of color and other characteristics of modern environmental components, the sound lighting design, thoughtful in relation to the historical basis;

– special attention to the architecture of the earth, which combines the properties of a pedestrian surface, a landscape component, the object of "urban archeology" in areas with a historical background;

– a comprehensive solution of urban orientation information, including historical information about places, streets, and houses;

– the cultural mission of pedestrian spaces as public centers of contemporary art, concert and exhibition halls, venues for festivals, art events, etc.

The main task of improving the formation of the pedestrian infrastructure of the city is the creation of comfortable conditions for pedestrian traffic through the use of various planning and volumetric elements.

The main element of the pedestrian infrastructure of the city is the sidewalk. The sidewalk is a stone, wooden or asphalt footpath, located on the side or sides of the street, raised above the roadway and framed by a curb for functional separation from it. The sidewalk is intended only for pedestrians, the movement of vehicles on the sidewalks is prohibited, with the exception of the operation of road maintenance and utility services machines, as well as the transport of goods to trade and other enterprises and facilities.

Along with sidewalks, pedestrian crossings are elements of pedestrian infrastructure. Pedestrian crossing is a special section on the carriageway, allocated for the passage of pedestrians to the other side of the street or road or an artificial structure above / below the carriageway for the same purpose. Ground pedestrian crossing is a zone used by pedestrians to cross the other side of the carriageway or railway track.

Pedestrian bridge is a special structure located above ground level and is intended only for pedestrian traffic.

A pedestrian bridge across the river is constructed when there is no city bridge in the immediate vicinity, and pedestrian traffic is heavy. Pedestrian bridges are often erected over railways and multi-lane streets. The height of these bridges is determined by the corresponding approximation dimensions, and the length depends on the width of the sections that overlap.

Esplanade is a wide, open architectural space in front of the building.

Pedestrian square is an open architectural space with a diverse functional purpose, intended for movement, recreation, walks of pedestrians. In modern urban planning, the areas are divided into two main types: pedestrian (public) and transport.

Pedestrian (public) squares are divided into: main, shopping, theater, memorial, cathedral, and landscape gardening. Transport areas are divided into: station, pre-factory, pre-stage. Each of these types of space has its own organization specifics.

Pedestrian street is an open architectural space with a system of pedestrian communications of a linear orientation, excluding the movement of vehicles.

A pedestrian zone is an ecological facility with a system of pedestrian streets, squares, boulevards, squares intended for pedestrian traffic.

In modern architecture and design, the organization of pedestrian communications is one of the priority areas and may be a testament to the ability to reconcile creative ambitions, social and commercial effectiveness with respect to what has been created over the centuries.

Along with pedestrian streets and zones in city centers, tram and pedestrian zones are becoming more widespread. Tram-pedestrian street is a part of the road network, designed for the movement of trams, pedestrians, cyclists and emergency vehicles. The movement of private vehicles in such a street is prohibited. At night, such a street may allow passage of municipal cleaning equipment and vehicles that serve retail outlets on this street (provided there are no alternative passages). Now the tram-pedestrian street is one of the most advanced stages in the development of the street-road network of the city center.

SECTION 19.
RADIO ENGINEERING

19.1 Improvement of vibro-frequency stability of auto-generator piezo-resonance devices in the mode of multi-frequency excitation of quartz resonators

Невід'ємною особливістю сучасного розвитку радіоелектронних пристроїв та систем телекомунікацій є широке використання п'єзорезонансних пристроїв (ПРП), які в багатьох випадках суттєво впливають на їх працездатність. Проте, дія великої кількості дестабілізуючих факторів значно обмежує метрологічні характеристики ПРП. Одним із основних (окрім температури) дестабілізуючим фактором є вібрація, яка впливає на динамічні характеристики та стабільність ПРП [422].

Отримані автором скорочені рівняння для амплітуд U_j, фаз коливань φ_j та напруг автозміщення $\widetilde{E}_i$ багаточастотної автоколивальної системи (БПКС) з урахуванням вібродинамічних впливів мають наступний вигляд:

$$T_j \frac{dU_j}{dt} = \left[R_{e_j}\left(T^o, \overline{\mathrm{G}}, t\right) \cdot K_{\phi_j} \sum_{i=1}^{n} \overline{S}_{ji}(V_{ji}, \widetilde{E}_i, E_i) \cdot K_{ji}\, cos(\Delta\varphi_{ji} + \Delta_{\phi_j}) - 1 \right] \cdot U_j ;$$

$$T_j \frac{d\varphi_j}{dt} = R_{e_j}\left(T^o, \overline{\mathrm{G}}, t\right) \cdot K_{\phi_j} \sum_{i=1}^{n} \overline{S}_{ji}(V_{ji}, \widetilde{E}_i, E_i) \cdot K_{ji}\, sin(\Delta\varphi_{ji} + \Delta_{\phi_j}) - \Delta w_j\left(T^o, \overline{\mathrm{G}}, t\right) \cdot T_j ; \quad (1)$$

$$T_{аз_i} \frac{d\widetilde{E}}{dt} = -\left[R_{аз_i} I_{0i}(V_{ji}, \widetilde{E}_i, E_i) - \widetilde{E}_i \right]; \quad j = \overline{1,m}; \quad i = \overline{1,n},$$

де $R_{e_j}\left(T^o, \overline{\mathrm{G}}, t\right)$ – еквівалентний опір КР для j-того коливання; $\dot{K}_{\phi_j} = K_{\phi_j}\, exp(j\Delta\varphi_{\phi_j})$, $\dot{K}_{ji} = K_{ji}\, exp(j\Delta\varphi_{ji})$ – комплексні коефіцієнти передачі еквівалентного фазового кола та кола зворотного зв'язку (ЗЗ) для j-тої частоти; $\overline{S}_{ji}(V_{ji}, E_i, \widetilde{E}_i)$ – усереднена крутизна для j-того коливання; $T_j = 2/w_{q_j}\delta_j$, $T_{аз_i} = R_{аз_i} C_{аз_i}$ – постійні часу низькочастотного j-того парціального еквівалента

коливальної системи та кола автозміщення; $I_{0i}(V_{ji},\widetilde{E}_i,E_i)$ – постійна складова вихідного струму i-того АЕ; m=n=3 – кількість частот та каналів генерування; $\Delta w\left(T^o,\overline{\mathrm{G}},t\right)=\left(w_{q_j}\left(T^o,\overline{\mathrm{G}},t\right)\right)^2\cdot\dfrac{R_{вх_\Sigma}\tau_{вх_\Sigma}+R_{вих_\Sigma}\tau_{вих_\Sigma}}{2Q_{q_j}R_{q_j}}$ – поправка до частоти j-того коливання КР, яка враховує нестабільності частоти $\Delta f_j^{A\Phi}(t)$, $\Delta f_j^{T^o}(t)$ та $\Delta f_j^{G}(t)$, зумовлені наявністю фазових зсувів в колах ЗЗ, температурних $\left(T^o\right)$ та вібраційних впливів $\left(\overline{\mathrm{G}}\right)$ на КР; T^o – температура, °C; $\overline{\mathrm{G}}$ – вектор чутливості до вібраційного прискорення.

Для дослідження БПКС у системі MATLAB розроблений пакет m-файлів MultiGeneration, який дозволяє проводити чисельне інтегрування рівнянь руху (1). Створений зручний графічний інтерфейс (рис. 223), який дозволяє за допомогою обмеженого числа елементів керування повністю контролювати процес отримання розв’язку системи рівнянь.

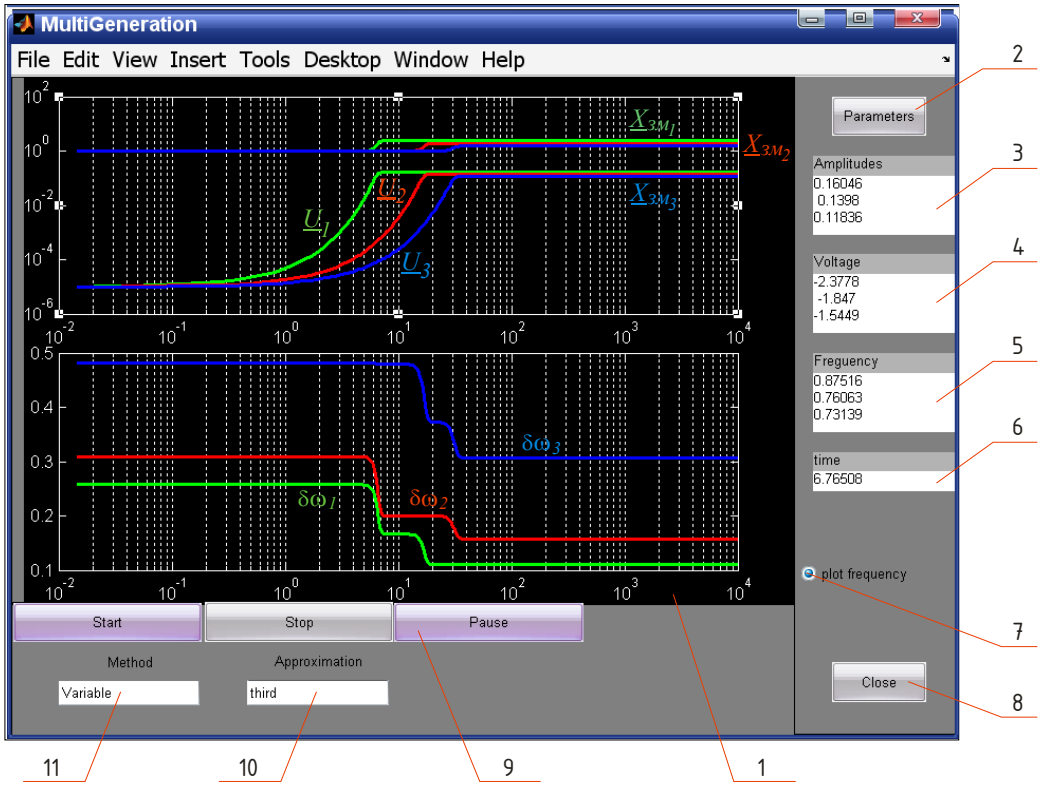


Рисунок 223. Встановлення тричастотного режиму коливань БПКС

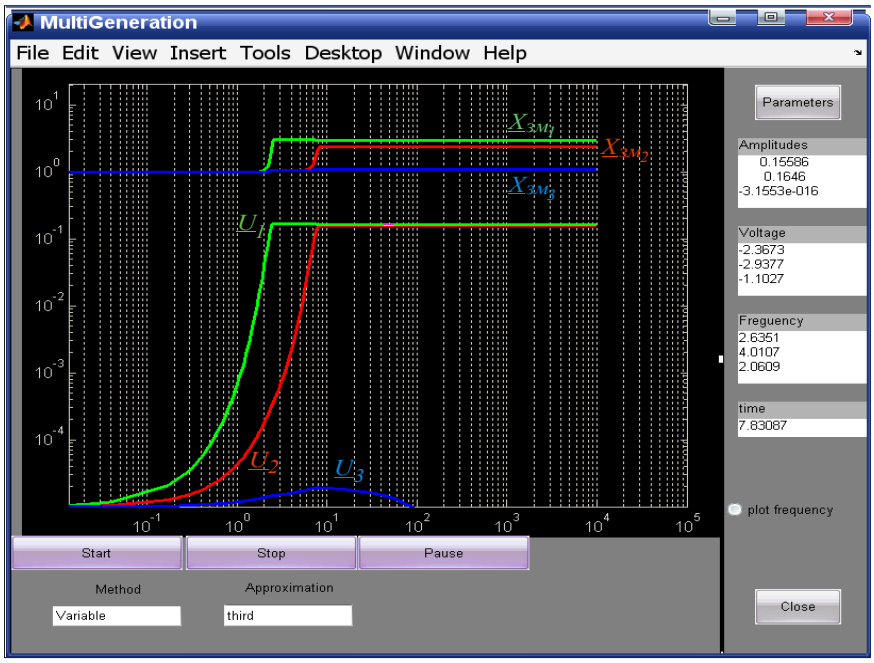
На рис. 223 введені наступні позначення: 1 – графічний екран для

динамічного виведення залежностей амплітуд коливань $\underline{U}_j$ та напруг зміщення $X_{çì_i}$ як процесів у часі; 2 – опція «Parameters» для завдання параметрів БПКС; 3, 4 – вікна для динамічного виводу поточних значень амплітуд та напруг зміщення; 5 – вікно виводу відносного вибігу частоти кожного з коливань; 6 – вікно виводу часу встановлення багаточастотного режиму коливань; 7 – опція виводу залежностей перехідного процесу за частотою; 8 – опція закриття вікна «MultiGeneration»; 9 – опції початку розв'язку «Start», тимчасової зупинки виконання програми «Pause» для запису проміжних значень, екстреного завершення роботи програми і переходу в режим очікування «Stop»; 10 – опція вибору степеня апроксимуючого поліному ВАХ; 11 – опція вибору методу чисельного інтегрування.

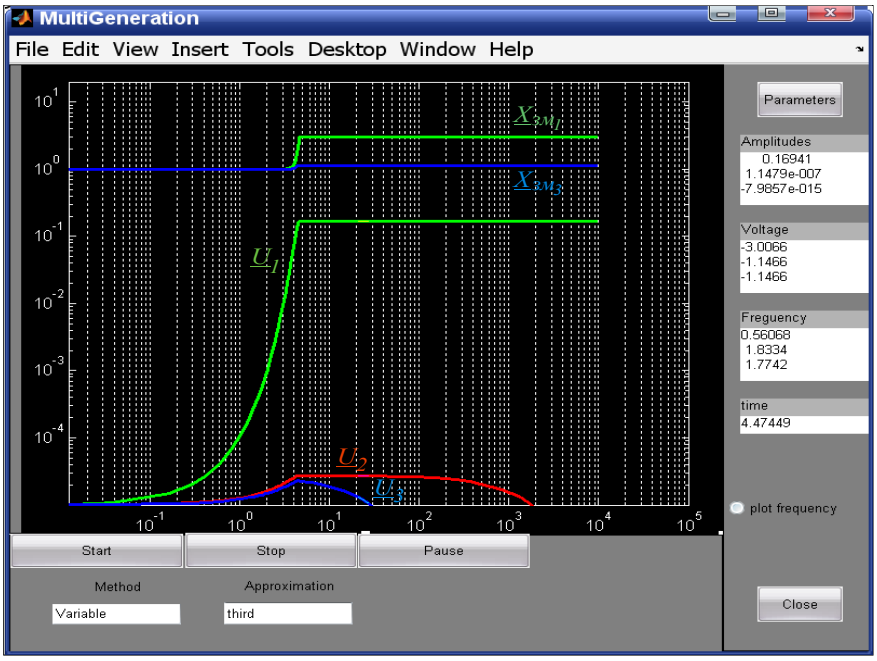
На рис. 223 представлені характерні випадки процесу встановлення тричастотного режиму коливань для БПКС з трьома нелінійними елементами (НЕ), отримані шляхом чисельного розв'язання рівнянь (1) для типових параметрів активних елементів БПКС (біполярних транзисторів), для яких реально були визначені середньостатистичні значення параметрів ВАХ: $S_0 = 0{,}1$ А/В; $\underline{a}_0 = 0{,}95$; $\underline{a}_1 = 0{,}55$; $\underline{a}_2 = 0{,}051$; $\underline{a}_3 = -0{,}0054$, за похибки апроксимації $\varepsilon \le 5\%$. Початкові значення малозмінних параметрів БПКС становили: $T_j = 0{,}1\,c$; $T_{аз_i} = 1 \cdot 10^{-4}$ с; $R_{аз_i} = 1$ кОм; $K_{jj} = -20$ дБ; $\overline{x}_{зм_i} = 30$.

Видно, що за високих вибіркових властивостей кіл ЗЗ до величини $\gamma_{ji} = -20\,дБ$ забезпечується стійкий тричастотний режим генерації навіть за суттєво різних величин параметрів регенерації $K_1^R \ne K_2^R \ne K_3^R$. В той же час, зменшення вибірних властивостей до $\gamma_{ji} = -6$ дБ призводить до ситуації, коли за низької активності одного або декількох із коливань (рис. 224) можливе його (їх) придушення більш активними коливаннями з більшими значеннями параметрів регенерації K_j^R. При цьому необхідно розуміти, що вживання терміну низька або висока активність коливання (коливань) в даному випадку використовується по відношенню до інших коливань БПКС. Це обумовлене

тим, що енергетично самодостатні коливання (K_j^R), за режиму багаточастотного збудження (конкуренції в каналах збудження), в деяких випадках, можуть загасати, що і проілюстровано на рис. 224. Дуже важливими характеристиками БПКС є тривалість перехідного процесу встановлення та груповий вибіг частот коливань [423], які визначаються у відповідності до (1).



а)



б)

Рисунок 224. Встановлення коливань БПКС в режимі двочастотного (а) та

одночастотного (б) збудження

Результати моделювання показують (рис. 224), що за сумісної варіації амплітуд і зміщень відносний вибіг $\delta\omega_j = \Delta\omega_j(\underline{t})/\omega_{q_j} = \frac{1}{\omega_{q_j}} \cdot \frac{d\varphi_j}{d\underline{t}}$ може досягати величин від 10^{-12} до 10^{-10} та істотно зменшується за умов збільшення вибіркових властивостей кіл ЗЗ.

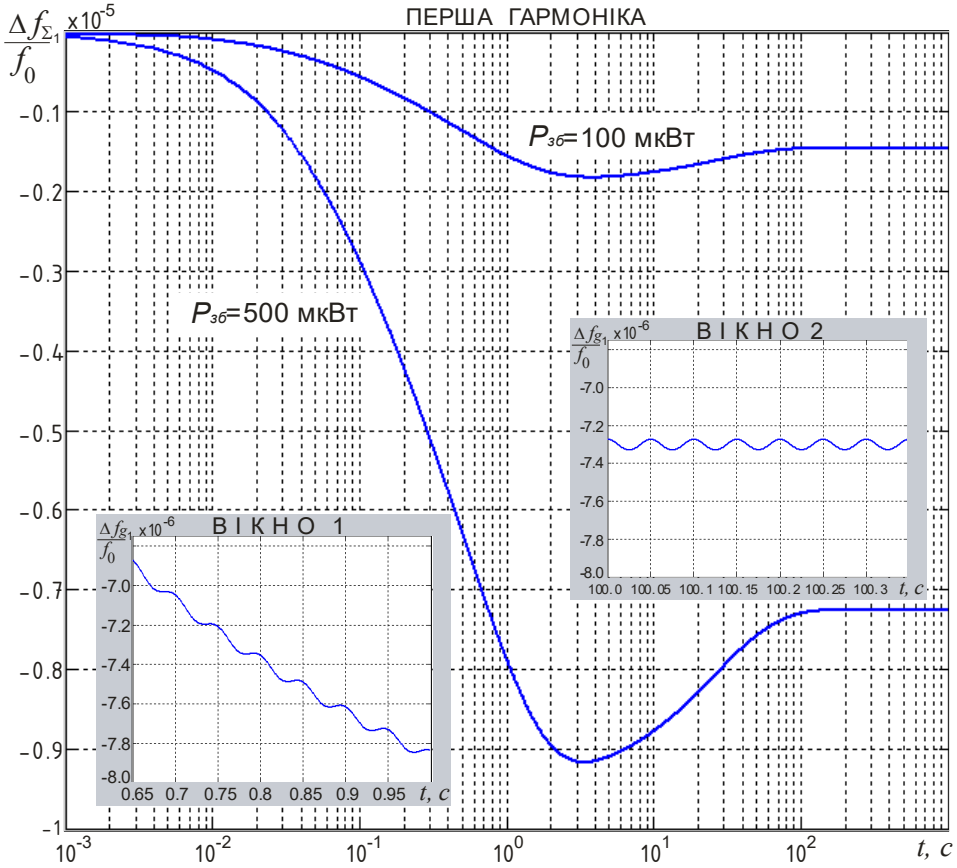
Розглянемо динаміку встановлення частоти коливань ПКС на базі типового кварцового резонатора АТ-зрізу з номінальною частотою $f_{111} = 10{,}000000\ МГц$ [424] та конструктивними параметрами $2h_0 = 0{,}278\ мм$, $R' = 270\ мм$, $\rho'h'/\rho h = 0{,}00642$, для якого визначені коефіцієнти віброчутливості для першої та третьої механічних гармонік: a_{1G}=5,56·10^{-2} Гц/g та a_{3G}=14,65·10^{-2} Гц/g відповідно. В загальній постановці теоретичний аналіз вібраційних змін частот КР товщинно-зсувних коливань може бути представлений виразом:

$$\Delta f / f = S(\psi, \gamma; \theta, \phi; D/b, n_{kp}, \alpha_k; G), \qquad (2)$$

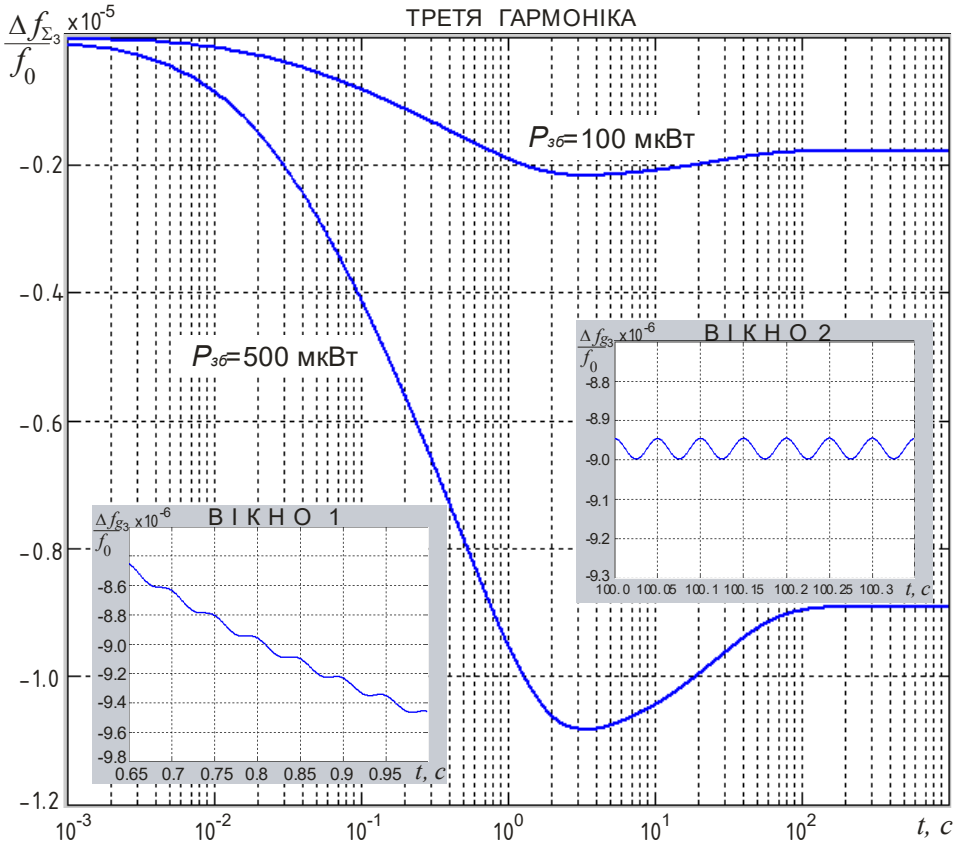
тобто функції від азимутального кута ψ, утвореного вектором прискорення відносно кристалографічної осі X і кута місця γ, прискорення G і зрізу (θ, ϕ), відношення D/b (діаметра до товщини ПЕ), числа точок кріплення n_{kp} і кута $\alpha_k (K = \overline{1, n_{kp}})$, що визначає положення точки кріплення відносно осі X.

На рис. 3 приведені сумарні часові залежності зсувів частоти $\Delta f_\Sigma / f_0$ ПКС за умови стрибкоподібного збудження КР для рівня потужності збудження $P_{зб}$=100 мкВт та $P_{зб}$=500 мкВт та вібраційного прискорення 5g, які розраховані у відповідності до (2). Для найбільш характерних ділянок кривих також приведені додаткові вікна з “розтягненим” масштабом для більшої деталізації термовібродинамічних процесів. Аналіз отриманих даних для стрибкоподібних змін потужності збудження після включення $P_{зб}$=500 мкВт (рис. 3) показує, що основний вклад в динаміку встановлення частоти коливань вносить

саморозігрів кварцового резонатора, при цьому термодинамічна складова нестабільності КР може перевищувати значення (0,5…1)·10^{-5}.



а)



б)

Рисунок 225. Сумарні залежності термо- та вібродинамічної складової нестабільності частоти КР АТ-зрізу на етапі встановлення коливань для першої (а) та третьої (б) гармонік

В той же час вібраційна нестабільність на даному етапі встановлення коливань на один-два порядки менше (рис. 3,*а* ВІКНО 1). Після встановлення теплового балансу кварцового резонатора для $t > (80 \ldots 100)$ с динаміка частотних зсувів визначається в основному вібродинамічною складовою (рис. 3,*а* ВІКНО 2), що треба враховувати під час розробки систем віброкомпенсації.

Аналогічний характер встановлення коливань спостерігається і для третьої гармонічної складової коливань КР (рис. 225,*б* ВІКНО 1, ВІКНО 2), що обумовлено локалізацією механічних коливань резонатора в одному об'ємі піделектродної області і підтверджує високу кореляційну залежність між коливаннями першої і третьої механічної гармоніки КР.

Розглянемо динаміку різницевої частоти спектру вихідного сигналу ПКС $\delta f_{dif}=\delta f_1-\delta f_3$ за умови $f_1 \approx f_3/3$, де $\delta f_1=\Delta f_1/f_1$ і $\delta f_3=\Delta f_3/f_3$ – відносні нестабільності частоти мод коливань першої f_1 і третьої гармоніки f_3 (рис. 226).

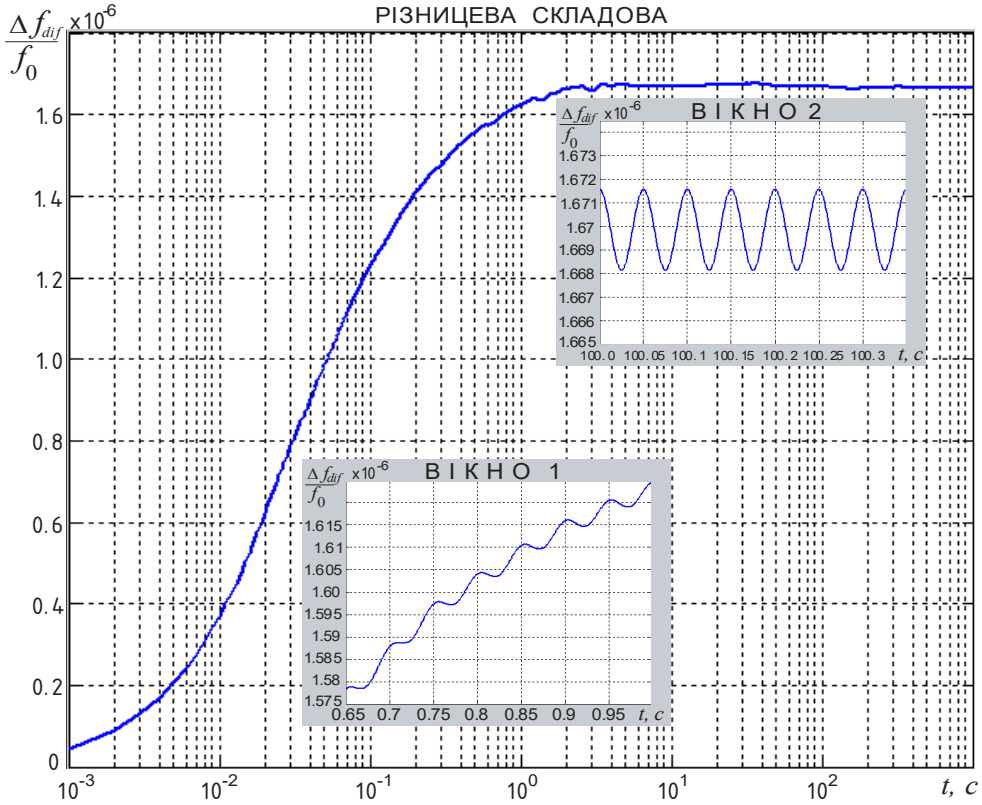


Рисунок 226. Сумарні залежності термо- і вібродинамічної складової нестабільності частоти КР АТ-зрізу на етапі встановлення коливань у вигляді різницевих залежностей

Видно, що для різницевої складової δf_{dif} через високу кореляцію зсувів частоти коливань f_1 і f_3 спостерігається різке скорочення процесу встановлення частоти різницевого коливання f_{dif} (приблизно на порядок) з одночасним зменшенням вібродинамічної нестабільності складової до величини $(0{,}3\ldots0{,}5)\cdot10^{-8}$ (рис. 226, ВІКНО 2) в порівнянні з нестабільностями δf_{g1} та δf_{g3}, які складають величину $(0{,}05\ldots0{,}1)\cdot10^{-6}$ (рис. 225,а, б ВІКНО 2).

Отриманий результат підтверджує високу ефективність запропонованого методу віброкомпенсації на основі використання різницевих складових спектру вихідного сигналу ПКС з урахуванням термодинамічних складових їх нестабільностей.

References

1. Производство проса: итоги и перспективы, распространение и свойства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://supersadovnik.net/proizvodstvo-prosa-itogi-i-perspektivy-rasprostranenie-i-svojstva/

2. Украинский рынок проса: когда результаты не оправдывают ожидания[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.apk-inform.com/ru/exclusive/topic/1010122#.VC2InVdbfIU

3. Анискин В.И., Окунь Г.С., Чижиков А.Г. Гигроскопическиесвойства зерна различных культур. М.: ЦИНТИ Госкомзаг, 1967. – 86 с.

4. Подпрятов Г.І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М., Хилевич В.С. Зберігання і переробка продукції рослинництва: навч. посібник. К.: Мета, 2002. – 495 с.

5. Подпрятов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. К. : Аграрна освіта, 2014. – 393 с.

6. Малин Н.И. Технологияхранения зерна: учеб. М.: Колос, 2005. – 280 с.

7. Гапонюк О.І., Остапчук М.В., Станкевич Г.М., ГапонюкІ.І.Активне вентилювання тивне вентилювання та сушіння зерна. Одеса: ВМВ, 2014. − С. 23-25.

8. Пузік Л.М. Технологія зберігання і переробки зерна: навч. посіб. Харків: ХНАУ, 2013. − 312 с.

9. Влага в зерне / А.С.Гинзбург, Б.П.Дубровский, Е.Д.Казаков и др. М.: Колос, 1969. – 224 с.

10. Гинзбург, А.С., Савина И.С. Массообменныеарактеристикипищевыхпродуктов: учеб.Москва: Легкая и пищеваяпром-сть, 1982. – 280 с.

11. Овсянникова, Л., Кац А. Новітні дані щодо водопоглинальної здатності насіння льону. Зерно і хліб, 2007, № 3. – С. 24.

12. Станкевич Г.М., Овсянникова Л.К., Черній В.О. Післязбиральна обробка та зберігання насіння гірчиці: монографія. Одеса: Вид-во КП «Одеська міська друкарня», 2015. – 136 с.

13. Станкевич, Г.М., Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г. Обробка та зберігання дрібнонасіннєвих олійних культур: монографія. Одеса: КП ОМД, 2016. – 128 с.

14. Станкевич, Г., Орлова С., Тіора В. Про вологість і температуру, котрі вважаються загрозливим для зберігання насіння гірчиці. Зерно і хліб, 2008, № 1, С. 40-42.

15. Берегова, О.М. Удосконалення технології первинної обробки та зберігання насіння ріпаку: дис...канд. техн. наук: 05.18.03. – О., 2002. – 276 с]

16.Станкевич Г.М., Кац А.К., Овсянникова Л.К. Доробка та зберігання соргових культур (сорго та сориз): монографія. Одеса: КП ОМД, 2018. – 130 с.

17. Samuel G. McNeill and Michael D. Montross, Samuel, G. McNeill. Harvesting, drying, and storing grain sorghum // Pakistan journal of biological Sciences. 2006. № 9. P. 26.

18. Chukwu O.,AjisegiriE. The Effects of Moisture-Sorption Cycles on on Some Physical Properties and Nutritional Contents of Agricultural Grains. AU J.– 2005, № 9. – P. 121.

19. Singh K.P.,MishraH.N., Supradip S. Sorption Isotherms of Barnyard Millet Grain and Kernel.Food and Bioprocess Technology, 2011, № 1. – P. 5.

20. Walters C., Hill L.M. Water sorption isotherms of seeds from ultradry experiments. Seed Science Research, 1998, №8. – P.69.

21. Raji A.O.,OjediranJ.O.Moisture sorption isotherms of two varieties of millet.Food and Bioproducts Processing, 2011,№ 89, P. 178

22.. Menkov, N.D.,GelyazkovD.I. Moisture sorption isotherms of millet seeds.CzechJournalofFoodSciences, 2000, № 3. – P.86.

23. Акулич П. В.,Акулич А.В. Конвективные сушильные установки: методы и примеры расчета: учебное пособие. Минск: Вышэйшая школа, 2019. – 376 с.

24. Стародубцева А.И., Сергунов В.С. Практикум по хранению зерна: учеб. пособие для вузов. М.: Агропромиздат,1987. – 192 с.

25. Остапчук М.В., Станкевич Г.М. Математичнемоделювання на ЕОМ: підруч. Одеса: Друк, 2006. – 313 с.

26 Запорука успіху нового сезону — хіти перцю солодкого Єкла і Люмос! P URL: https://www.syngenta.ua/news/ovochevi-kulturi/zaporuka-uspihu-novogo-sezonu-hiti-percyu-solodkogo-iekla-i-lyumos

27 Куракса Н.П. Параметри адаптивності перцю солодкого Овочівництво і баштанництво. 2014. Вип. 60. С. 155-166.

28 Калайда К. Господарсько-товарознавча оцінка сортів перцю солодкого, районованих в Україні Товари і ринки. 2018. № 2. С. 110-120.

29. Голуб Б. Аналізування мікробіологічних небезпечних чинників виробництва синбіотичних молочних напоїв при розробці системи НАССР. Товари і ринки. Київ, 2010. № 1. С. 74–81.

30. Остап'юк М.П. Обґрунтування можливості та доцільності застосування принципів системи НАССР при виробництві молока на молочних фермах. Ветеринарна медицина. Харків, 2010. Вип. 93. С. 318–323.

31. Зозуляк О.В., Зозуляк І.А. Впровадження системи НАССР на підприємствах молочної галузі. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. Мелітополь, 2019. Вип. 19. Т. 1. С. 139–147.

32. Шарахматова Т., Дюдіна І., Ізбаш Є. Система НАССР у розв'язанні проблем виробництва молока. Продовольча індустрія АПК. Київ, 2017. № 5. С. 34–37.

33. Столярчук П.С., Остап'юк С.Д. Встановлення граничних значень критичних точок контролю за системою НАССР при виробництві вершкового масла. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Сер.: Автоматика, вимірювання та керування. Львів, 2013. № 753. С. 31–36.

34. Алибеков Р.С., Серикбай Ф.Т. Применение принципов ХАССП в производстве свежего сыра с плесенью. Вестник Алматинского технологического университета. Алматы, 2016. №4 (113). С. 41–47.

35. Микийчук М.М., Остап'юк С.Д. Етапи розроблення системи НАССР на молокопереробному підприємстві. Енергетика і автоматика. Київ, 2017. №1. С. 123–131.

36. Власенко І.Г., Левицька А.О. Система аналізу ризику і контролю критичних точок (НАССР) у контексті підвищення конкурентоздатності харчової продукції підприємств України. Наукові праці НУХТ. Київ, 2013. № 50. С. 165–170.

37. Дідух Н.А., Молокопой Л.О. Спосіб виробництва твердого сичужного пресованого сиру функціонального призначення. Пат. 96105 України, МПК A23C 19/032 (2006.01) A23C 19/06 (2006.01) A23C 19/14 (2006.01); заявник та патентовласник Одеська національна академія харчових технологій. № a201014120; заявл. 26.11.2010; опубл. 26.09.2011, Бюл. №18.

38. Mardar M.R., Ustenko I.A., Macari A.V., Znachek R.R. Application of HACCP principles for quality and safety in the development of grain products of welness purpose. Food Science and Technology. Odesa, 2017. Vol. 18, Issue 2. P. 138–144.

39. Chernukha I.M. Study of the problem of iodine enrichment of food / I.M. Chernukha, N.L. Vostrikova, Yu. K. Yushina, A.V. Bogdanova // 57 International Congress of Meat Science and Technology. – Belgium, 2011. – P. 127.

40. Karabulut I. Effect of α-tocopherol, β-carotene and ascorbul palmitate on oxidative stability of butter oil triacylgcerols / I. Karabulut // Food Chem. – 2018. – 123, № 3. – P. 622-627.

41. Бабий Н.В. Дигидрокверцетин – природный антиоксидант XXI века / Н.В. Бабий, Д.Б. Пеков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 7. – С. 46-47.

42. Демидов І.М. Дослідження механізму антиоксидантного впливу соняшникового фосфатидного концентрату на окиснення соняшникової олії / І.М. Демидов, А.О. Демидова, Л.В. Пешук // Харчова промисловість. – 2010. – № 9. – С. 7-10.

43. Terpinc P. Antioxidant properties of 4-vinil derivaties of hydroxycinnamic acids / P. Terpinc, T. Polak, N. Šegatin [et al.] // Food Chem. – 2014. – 128, № 1. – P. 62-69.

44. Chatha S. Wheat bran extracts: a potent source of natural antioxidants for the stabilization of canola / S. Chatha, I. Hussain, J. Bajwa // Grasas y aceites. – 2012. – 62, № 2. – P. 190-197.

45. Catel Y. Radical Scaverging Activity and Perfomance of Novel Phenolic Antioxidants in Oils / Y. Catel, F. Aladedunye, R. Przybylski // J. Amer. Oil Chem. Soc. – 2015. – 89, № 1. – P. 55-66.

46. Rockenbach I. Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes / I. Rockenbach, E. Rodrigues, L. Gonzaga // Food Chem. – 2012. – 127, № 1. – P. 174-179.

47. Rockenbach I. Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes / I. Rockenbach, E. Rodrigues, L. Gonzaga // Food Chem. – 2012. – 127, № 1. – P. 174-179.

48. Dietary phytophenols act as scavengers of reducing radicals / Y. Shi, S. Yao, Z. Jia [et al.] // Food Chem. – 2014. – 24, № 4. – P. 1322-1327.

49. Lee K.Y. Effect of oat β-glucanand its oxidized derivative on the quality characteristics of sponge cake / K.Y. Lee, S.Y. Park, H.G. Lee // Int. J. Food Sci. and Technol. – 2014. – 46, № 12. – P. 2663-2668.

50. Одарченко А. М., Соколова Є. Б., Зоріна Н. А. Аналіз сучасних тенденцій на ринку безалкогольних напоїв України // Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine and Poland:

International Multidisciplinary Conference, 19–20 October 2018 : materials. Wołomin, Republic of Poland, 2018. Vol. 2. P. 114-117.

51. Одарченко Д. М., Соколова Є. Б. Спосіб отримання фруктових та овочевих напівфабрикатів для виробництва смузі // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., присв.

50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі, 18 травня 2017 р.: у 2 ч. / ХДУХТ. Харків, 2017. Ч. 1. С. 349.

52. Міжнародні стандарти харчових продуктів. Codex Alimentarius. URL: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/themes/nutritionlabelling/ru/

53. Погожих М. І., Одарченко Д. М., Соколова Є. Б., Павлюк І. М. Дослідження дисперсного складу овочевого та фруктового напівфабрикатів як основної складової частини для напою смузі // Харчова наука і технологія. 2017. № 11 (2). С. 68–73.

54. Спосіб отримання замороженого фруктового напівфабрикату для виробництва напою смузі: пат.на кор. модель 122890, Україна, МПК 2017.1 A23B 7/04 (2006.01), A23L 19/00 / Одарченко Д. М., Одарченко М. С., Соколова Є. Б., Абабова А. Г. № u201709147; заявл. 15.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2. 3 с.

55. Погожих М. І., Соколова Є. Б., Василець К. К. Технологічна схема виробництва замороженого напівфабрикату для смузі // III Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика актуальних наукових досліджень». Запоріжжя. 28-29 вересня 2018 р. С. 57–59.

56. Odarchenko D., Odarchenko A., Sokolova Ye., Mikhailik V. Cryoscopic and microbiological study of the semi-finished product for making a smoothie drink // Eastern-European Journal of Eenterprise Technologies. 2018. №. 2/11 (92). P. 65–69.

57. Zagrebelnyj, V.O. Basic aspects of evaluation of microbiological risk of food products // Veterinary Biotechnology, 2015. №26. P. 83–90.

58. 212. Afroz H., Ahmed T., Uddin Md. A. Microbiological analysis and antibacterial activity of pear samples // Stamford Journal of Microbiology. 2016. Vol. 5. P. 1–4.

59. Odarchenko D., Odarchenko A., Sokolova Ye., Mikhailik V. Investigation of the influence of the process of freezing on microbiological factors of safety of frozen semi-product for cooking drink smoothie // EUREKA: Life Science. 2018. № 2.

P. 62–67.

60. Производство водок и ликероводочных изделий / И.И. Бурачевский, Р.А. Зайнуллин, Р.В. Кунакова и др. – М.: ДеЛипринт, 2009. – 324 с.

61. Макаров, С.Ю. Технология водок и ликероводочных изделий. / С.Ю. Макаров, И.Л. Славская – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 2012. – 481 с.

62. Мельник Л. М., Ткачук Н. А., Турчун О. В., Діюк В. Е., Іщенко О. В., Бєда О. А., Кістерська Л. Д., Логінова О. Б., Лисовенко С. О., Гонтар О. Г., Гаращенко В. В. Адсорбційні властивості шунгіту в процесі очищення водно-спиртових розчинів: Сверхтвердые материалы, 2017, 6, 59-66.

63. Бурачевский, И.И. Технологические приемы стабилизации полуфабрикатов ликероводочного производства / И.И. Бурачевский, Е.В. Воробьева, Л.П. Галлямова // Ликероводочное производство и виноделие. – 2011. – № 11. – С. 2–3.

65. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. – К., 1998. – 164 с.

66. Шутенко, Є.І. Технологія круп'яного виробництва: навч. Посібник [Текст] / Є.І. Шутенко, С.М. Соц. – К.: Освіта України, 2010. – 272 с.

67. Webster, F.H. Oats chemistry and technology [Text] / F.H. Webster, P.J. Wood. St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists. 1986. 433 p.

68. Fang, Y.C. Oats Nutrition and technology [Text] / Y.C. Fang John Wiley & Sons, 2013 472 p.

69. Hamaker, B.R. Technology of functional cereal products [Text] / B.R. Hamaker Elsevier, 2007 568 p.

70. Пасічний В. М. Розробка комбінованих білково-жирових емульсій для ковбас і напівфабрикатів з м'ясом птиці / В. М. Пасічний, А. І. Маринін, О. О. Мороз, А. М. Гередчук // Вост.-Европ. журн. передовыхтехнологий. - 2015. - № 1/6. - С. 32-38.

71. Евтеев А.В. Применение молочно-белковых препаратов в технологии мясных продуктов/ А.В. Евтеев, А.В. Банникова // В сборнике: Пища. Экология. Качество Труды XIII международной научно-практической конференции. отв. за вып.: О.К. Мотовилов, Н.И. Пыжикова и др.. 2016. С. 387-392.

72. Development of formulation multi component protein-fat emulsiony. Ye. Kotliar, O. Topchiy, T. Goncharenko, Food Science and Technology, № 4, T.10, 2016.

73. Шарафиев Р. Г. Огнезащитные покрытия металлических конструкцій / Р. Г.Шарафиев, Ф. Н. Сулейманов, И. Р. Сулейманов // Интеллектика.

Логистика. Системология: сборник научных трудов ИНЦРАЕН. - М., Вып. 10. - 2003. - С. 103-111.

74. Яковчук Р. С. Вогнезахисна здатність наповнених силіційорганічних покриттів для бетону / Р. С. Яковчук, Р. В. Пархоменко, М. М. Гивлюд // Зб. науков. праць «Пожежна безпека». - Львів, ЛДУБЖД. - 2013. - № 22. - С. 222-226.

75. Демидчук Л. Б. Органосилікатні температуростійкі покриття для будівельних матеріалів / Л. Б. Демидчук, М. М. Гивлюд, І. В. Маргаль // Вісник Хмельницького Національного університету (Науковий журнал, технічні науки). - Хмельницький. 2012. - № 1. - С. 92-96.

76. Демидчук, Л. Б.Огнестойкие защитные покрытия металлических поверхностей / Л. Б.Демидчук,М. М. Гивлюд, И. А.Лобаев// Научный Интернет-журнал академии АГПС МЧС России: № 4(44). – М., 2012 г.

77. Демидчук Л. Б., Сапожник Д. І.Підвищення температуро- та вогнестійкості залізобетонних конструкцій шляхом поверхневого оброблення захисними покриттями / Л. Б.Демидчук, Д. І. Сапожник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 5 (265). – С. 209-213.

78. Пат. 79962. Україна, МПК С 09 D 5/00. Температуровогнезахисне покриття / Р.С. Яковчук, Р.В. Пархоменко, М.М. Гивлюд, Л.Б. Демидчук. – № заявки u 2012 12387; заявл. 29.10.2012; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9. – 4 с.

79. Demydchuk L. and SapozhnykD. Increase of Temperature and Fire Resistance for Reinforced-Concrete Structures by Surface Treatment with Protective Coating. Key Engineering Materials, Vol. 788, pp. 36-44, 2018

80. DemydchukL. Protective coatings for the protection of cellulose materials based on polyorganosiloxanes / L. B.Demydchuk, D. I. Sapozhnyk// Problems ofimplementation of science into practice. Abstracts of XIII international scientificand practical conference (April 8-10, 2020). – Library of Congress Cataloging-in-Publication Data:Oslo, Norway 2020. – 465 p. – Pp. 39-43.

81. R. Mishra, N. Mittal and S. K. Khatri, "Digital Image Restoration using Image Filtering Techniques," 2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM), London, United Kingdom, 2019, pp. 268-272.

82. Zhonghua Ma, Hong Ren Wu and Dagan Feng, "Partition-based vector filtering technique for suppression of noise in digital color images," in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 8, pp. 2324-2342, Aug. 2006.

83. B. Durnyak, O. Tymchenko, O. Tymchenko and B. Havrysh, "Applying the Neuronetchic Methodology to Text Images for Their Recognition," 2018 IEEE

Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, 2018, pp. 584-589.

84. S. Sheikh, B. Suthar, Tamanna and M. Uddin, "Comparative study of noise and digital filters for image processing," 2017 International Conference on Innovations in Control, Communication and Information Systems (ICICCI), Greater Noida, India, 2017, pp. 1-6.

85. Sho Miura, Hiroyuki Tsuji, Tomoaki Kimura and Shinji Tokumasu, "Mixed noise removal in digital images using enhanced TV filters," 2008 World Automation Congress, Hawaii, HI, 2008, pp. 1-6.

86. K. S. Lorenz, F. Serrano, P. Salama and E. J. Delp, "Segmentation and registration based analysis of microscopy images," 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Cairo, 2009, pp. 4213-4216.

87. Guangtao Zhai, Jianfei Cai, Weisi Lin, Xiaokang Yang and Wenjun Zhang, "Image error-concealment via Block-based Bilateral Filtering," 2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Hannover, 2008, pp. 621-624.

88. O. Tymchenko, O. O. Tymchenko, B. Havrysh, O. Khamula, O. Sosnovska and S. Vasiuta, "Efficient Calculation Methods of Subtraction Signals Convolution," 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Polyana, Ukraine, 2019, pp. 1-4.

89. Кнут Д.Искусствопрограммирования. Том 1. Основныеалгоритмы. □ Москва:Вильямс, 2002. □720 с.

90. Кнут Д.Искусствопрограммирования. Том 3. Сортировка и поиск. □ Москва:Вильямс, 2007. □832 с.

91. Литвиненко Є.М., Мерлак О.В. Структури даних: Навчально-методичний посібник. – Х.:ХНУБА, 2016. – 76 с.

92. Порядок організації та проведення творчих конкурсів для вступників на навчання для здобуття ступенів вищої освіти та освітньо-кваліфікаційного рівня молодшого спеціаліста в 2019 році. Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 17квітня 2019 року № 505. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14червня 2019 року за № 619/33590.

93. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приемыобъектно-ориентированногопроектирования. Паттерныпроектирования. – Санкт-Петербург, Питер, 2007. – 366 с.

94. Мейер Б. Объектно-ориентированноеконструированиепрограммных систем. – М., 2005. – 409 с.

95. Aron H. Das Gleichgewicht und die Bewegung einer unendlich dünnen beliebig gekrümmten elastischen Schalen // Journal für reine und angewandte Math. – 1874. – Bd. 78.

96. Lukianchenko O.O., Kostina O.V. The finite Element Method in Problems of the Thin Shells Theory, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. –134 p.

97. Bazhenov V., Perelmuter A., Vorona Y. Structural mechanics and theory of structures. History essays. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 579 p.

98. Courant R. Variable methods for the solution of problems of equilibrium and vibration // Bull. Amer. Math. Soc. – 1943. – Vol. 49. – №1.

99. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite element method: Its basis and Fundamentals. 7th Editon. – 2013. – 759 p.

100. Gotsulyak E.A., Lukianchenko O.O., Kostina O.V., Garan I.G. Stability of supported cylindrical shell with geometric imperfections under combined loading // Strength of Materials. – 2012. – Vol. 44, Issue 5. – P. 556-561.

101. Bazhenov V.A., Lukianchenko O.O., Kostina O.V., Gerashchenko O.V. Nonlinear Bending Stability of a Long Flexible Cylindrical Shell with Geometrical Imperfections // Strength of Materials. – 2016. – Vol. 48, Issue 2. – P. 308-314.

102 Левіцька, І. В. Теоретико-методологічні засади оцінювання ефективності підприємства / Левицька І. В, Сафонова А. П. – Режим доступу: http://intkonf.org/levitska-iv-ken-safonova-apteoretiko-metodologichni-zasadiotsinyuvannya-efektivnosti-pidpriemstva/.

103. Ищенко, Е. Прибыль как критерий эффективности функционирования предприятия / Ищенко Е. // Економіст. – 2005. – №8. – С. 90-92.

104. Бланк И.А. Управление денежными потоками. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Ника-Центр, 2007. – С. 256- 261.

105. Пітюлич, М. М. Управління грошовими потоками на підприємстві / М. М. Пітюлич, В. В. Стегура. – Режим доступу: https://goo.gl/bqrYCP.

106. Костирко, Л. А. Стратегія фінансово-економічної діяльності господарюючого суб’єкта: методологія і організація: [монографія] / Лідія Андріївна Костирко. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2002. – 560 с.

107. Ясишена, В. Сутність грошових потоків підприємства та їх класифікація / В. Ясишена. – Режим доступу: https://goo.gl/Jmv5X4.

108. Барабаш Н. С., Никонович Н. О. Аналіз грошових потоків в системі фінансового менеджменту підприємства / Н. С. Барабаш, Н. О. Никонович // Вісник Хмельницького національного університету – 2010. – № 2 (2). – С. 164 – 167.

109. I.Shcherbak, J. Kovalova. Highlighting the stationary sections on electrical load graphs. Problems and perspectives of modern science and practice. 11-12 may 2020, Graz, Austria.

110. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Баженов В.А. Оптимизация режимов электрических сетей. Киев. Наукова думка. 1992. 216 с.

111. Венников В.А. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов электрических сетей. Москва: Высшая школа, 1973. 320 с.

112. I. Shcherbak. Mathematical model of consumer regulators management for alignment of electric load graphs of transformer substation 10/0.4 kV. Світлотехніка та електроенергетика. (Index Copernicus, WorldCat). 2019. № 3. С. 125–129.

113. S. M. Sinha. Mathematical Programming: Theory and Methods. Elsevier Science. 2006. 572 p.

114. Bertsekas D. P. Nonlinear Programming. Athena Scientific, Belmont, 1999.

115 S. Hieke, M. Slamann, D. Lagunov, R. Loidhold, A. Masliennikov, A. Duniev, A. Yehorov. Two-phase transverse flux machine with disc rotor for high torque low speed application: The 19th European Conference on Power Electronics and Applications (and Exhibition), Warsaw, Poland, 11–14 September 2017. pp. 1–8.

URL:https://ieeexplore.ieee.org/document/8099153/authors;

116. Jaime RenedoAnglada, StudentMemberIEEEandSuleimanM. Sharkh, SeniorMember, IEEE.AnInsightIntoTorqueProductionandPowerFactorinTransverse-FluxMachines. IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 53, Issue: 3, May-June 2017. pp. 1971 – 1977.

URL:https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7845585;

117. Двигатель с поперечным магнитным полем – компьютерные и экспериментальные исследования / Ф. Палис, М. Штаман, Ю. Киршнер и др. // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Проблемы автоматизированного электропривода. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 36 (1009). – С. 287-290.

118.Ansys Maxwell 3D v.15 – Electromagnetic and Electromechanical Analysis: user’s guide / Ansys Inc. – Pittsburgh, 2012. – 1006 p.

119.G. Kastinger. Designof a noveltransversefluxmachine. Division: BodyElectronics, EngineeringAdvancedDevelopment, Bühl, Germany, P. 1–6.

120.A. Masliennikov, A. Yehorov, O. Duniev, R. Loidhold, M. Slamann, S. Hieke. TheMagneticSystemAnalysisoftheTransverseFluxMachineandItsImprovement: 2019

IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2-6 July 2019. pp. 552–555.

URL:https://ieeexplore.ieee.org/document/8879856/authors#authors

121.Єгоров А. В., Дунєв О. О., Маслєнніков А. М., Ляйдхольд Р., Штаманн М. Основи проектування дискового генератора з поперечним магнітним полем // Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку технічних наук у країнах ЄС та в Україні», м. Влоцлавек, Республіка Польща, 21–22 грудня 2018 р, pp. 86-89.

122. Двигатель с поперечным магнитным полем – компьютерные и экспериментальные исследования / Ф. Палис, М. Штаман, Ю. Киршнер и др. // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып. :Проблемыавтоматизированногоэлектропривода. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2013. – № 36 (1009). – С. 287-290.

123. Соосные мини мотор-редукторы. Дата оновлення 21.01.2019. URL:http://www.sirius-drive.ru/I_series.html

124. Малогабаритные мотор-редукторы. Дата оновлення 21.01.2019. URL: https://www.tech-privod.com

125. Національна енергетична програма України // Пропозиція. – 1998. – №7. – С. 50-51.

126. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.

127. ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98) Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. – К. – 11 с.

128. Справочник инженера электрика сельскохозяйственного производства / Учебное пособие. – М.: Информагротех, 1999. – 536 с.

129. Методика визначення повної енергоємності продукції сільськогосподарського виробництва / Укладачі: В.Я. Жарков, В.М. Кюрчев, М.І. Лобанов, Є.П. Масюткін; За ред. М.Л. Крижачківського. – Мелітополь, 2003. – 36 с.

130. Постнікова М.В. Оптимізація режимів роботи електромеханічних систем зерноочисних агрегатів / М.В. Постнікова, О.П. Карпова // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. − Випуск 6 (107), частина 1. – С. 15-20.

131. Постнікова М.В. Енергоємність як енергетична характеристика технологічного процесу очищення зерна / М.В. Постнікова, О.П. Карпова //

Зернові продукти і комбікорми. − Вип. 17, Т. 4. – 2017. – С. 45-50. DOI: http://dx.doi.org/10.15673/gpmf.v17i4.766.

132. B. P. Koman, V.N. Yuzevych. Solid State Phys. 54. No.7, 1335 (2012).

133. V.N. Yuzevych. Surface. Physics, chemistry, mechanics 9, 135 (1988).

134. D. Horiuchi, T. Toya. Hydrogen chemisorption. Surface properties of solids: ed. M. Green. New York: Wiley. P. 11-103. (1972) .

135. N.Eustathopoulus, J.-C. Joud. Interfacial tension and adsorption of metallic systems. Current Topics in Material Science. Edited by E. Kaldis. - Amsterdam: - Vol. 4. - P. 281-360. (1980).

136. N. C.Lang, W. Koh. Phys. Rev. B 1, 3555 (1970).

137. M.B. Partensky. Solid State Phys. 128, 69 (1979).

138. K.A. Bynkov, V.S. Kim Kuznetsov, V.M. Poverhnostnaya energy fcc metals. / Sib. fin - of USSR. Tomsk Scientific USSR Central Preprint number 48. Tomsk, 34. (1989).

139. M.V. Musokhranov. Technological support surface layer quality engineering guiding elements: dissertation for the degree of PhD. tehn. Sciences: 05.02.08 (Engineering Technology) / MV Musokhranov. - M., - 16. (2006).

140. M. Alden, S. Mirbt, H. L. Skriver. Phys. Rev. B. 46, № 10, 6303 (1992).

141. Quantities,units andsymbols in physical chemistry: Edition 3.Ed.E.R.Cohen, T.Cvibas, J.G. Frey.– Amsterdam: 2007.– P.320.

142. P.G. Smith. Introduction to food process engineering (Hardcover, Springer Science) 2011, V.18. - 510 P.

143. Mary Anne White. J.Chem. Educ. 75(5), 607 (1988).

144. Lev I. Berger. Semiconductor materials. 496 P. (CRC press NewYork: 1997).

145. R. J. Jaccodine, Surface Energy of Germanium and Silicon J. Electrochem. Soc., V. 110 , issue 6 , PP. 524-527 .(1963).

146. Herring C. Surface Tension as a Motivation for Sintering, in Physics of Powder Metallurgy, ed. W. E. Kingston (McGraw-Hill, New York. PP. 143 - 179. (1951).

147. L .Pauling. Nature of the chemical bond. Leningrad: Goskhimizdat. 234. (1947).

148. Ch. Kittel. Introduction to Solid State Physics. Moscow: Nauka, 792 p. (1978).

149. Tables of Physical Chemical Constants (Kaye and Laby) 16-th edition online American Institute of Phys. Handbook QC 61 A5. (1972).

150. E. Lassne, Schuber W.-D. t. Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Elements, alloys and chemical compounds. NewYork: Kluwer Academic / Plenum Publishers. 620 p. (1999).

151. Volynko O. Tables of Physical Constants. Kiev: Vilniy svit.- (in ukr.).(2010. -128 P).

152. W.B. Chung, K. Nog, W.A. Miller, A. McLean. Mater. Trans. 33 No. 8. 753 (1992).

153. A.G. Kvashni, P.B. Sorokin. Theoretical study of mechanical properties of graphene membranes by molecular mechanic. Journ. of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. № 2 (4). 426 (2009).

154. V.A. Kuz'kin, A.M. Krivtsov. Reports of the Academy of Sciences. 440. No. 4. 476 (2011).

155. S. Wang. Wettability and Surface Free Energy of Graphene Films / Shiren Wang, Yue Zhang, Noureddine Abidi, Luis Cabrales. Langmuir. 25 (18), pp 11078-11081. (2009).

156. L.S. Palatnik, M.Ya.Fuchs, .M. Kosevich. Mechanism of formation and substructure of condensed films. Moscow: Nauka. 232 P. (1972).

157. Kukushkin S.A. Thin Solid Films. 239. No1. P.16-26. (1994).

158. Thin Film Technology. Directory. T.1, T2. / Ed. L. Meissel, R. Glanga. (Moscow: Sov.radio. 1977).

159. V.V. Skorokhod, I.V. Uvarova, A.V. Ragulya. Physico-chemical kinetics in nanostructured systems. 267 P. (Kyiv: Academic Periodicals: 2001).

160. Fuchs M. Ya., Kozma A. A. Phys. Met. Metallography. 4, 773 (1974).

161. Palatnik L.S., Ilyinsky A.I. Physics Uspechi 95. Iss. 8. 614 (1968).

162. S. G. Lehnitsky. Theory of elasticity of an anisotropic body. 416 P. (Moscow: Nauka. 1977).

163. M.N. Magomedov. Solid State Phys. 43. No 3. 907 (2003).

164. M.N. Magomedov. Alternative energy and ecology. № 6 (86). 82 (2010).

165. V.N.Yuzevych, B.P.Koman. Metallofiz. Noveishie Technol. 25. No 3. 747 (2003).

166. V.M. Yuzevych, P.M. Soprunyuk, B.P. Koman, P.V. Lugoviy Metallofiz. Noveishie Technol. 27. No 5. 643 (2005).

167. R.Z. Valiev, A.V. Korznikov, R.R. Mulyukov. Phys. Met. Metallography. 4. 70 (1992).

168. V.N. Yuzevych. Reports of the Academy of Sciences URSR. A. No 8. 60 (1984).

169. 14. S.M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed., Willey, New York, 1981.

170. S. Karatas, A. Turut The determination of electronic and interface state density distributions of Au/n-type GaAs Schottky barrier diodes, Phys. B: Condens. Matter. 381 (1-2),(2006), 199-203.

171. Горшков Г. Ф., Бобов П. Г., Яшунский В. Б. Системная взаимосвязь традиционной и компьютерной технологии моделирования геометрических тел// Совершенствование подготовки учащихсяи студентов в области графики, конструирования и стандартизации: межвуз. науч.-метод. сб. –Саратов: СГТУ, 2005. – С. 186–190.

172. Верстаков Е. В. Особенности преподавания дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 6. Университетское образование. 2012. No 13. С. 88-91.

173. 3D-технологии построения чертежа. AutoCAD / А. Л. Хейфец [и др.]; под ред. А. Л. Хейфеца. – 3-еизд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – С. 1–2

174. Корчагина Л. Н. Интерактивные формы и методы повышения познавательной и творческой активности, обучаемых при обучении инженерной и компьютерной графике [Текст] // Инновационные педагогические технологии: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2016 г.). — Казань: Бук, 2016. — С. 148-150. — URLhttps://moluch.ru/conf/ped/archive/190/10390/ (дата обращения: 08.09.2019).

175. Holotiuk M.V. Modelyuvannya protsesu ruynuvannya odnorIdnogo merzlogo seredovischa zubtsyami / Holotiuk M.V., Tkhoruk Ye.I., Gavrish V.S. // Visnik NUVGP. – Rivne: NUVGP, 2015. – Vip. 3(71). – S. 354 – 357.

176. Cherepanov G.P. Mehanika hrupkogo razrusheniya. - M.: Nauka, 1974. - 640s.

177. Holotiuk M.V.Doslidzhennya formi zubtsIv dlya ruynuvannya lodovih utvoren na dorozhnih pokrittyah / M.V. Holotiuk, D.A. Palamarchuk, E.Ye. Tkhoruk, V.S. Gavrish // Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashin: zb. nauk. pr.- Kiyiv: KBUBA, 2015. – vip. 86. – S. 125-130.

178. Захаров В.Н. Интеллектуальные системы управления: основные понятия и определения. //Теория и системы управления. Известия РАН. №3 1997.

179. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. - М.:СИНТЕГ, 1999. - 127с.

180. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем.- М.: СИНТЕГ, 1999. - 105с.

181. Попов Э.В., Фомин И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. - М.: Финансы и статистика, 1996. - 315с.

182. Васильев В.И. Искусственный интеллект в системах управления и обработки информации. //Вестник УГАТУ. №1, 2000. - С.133-140.

183. Кусимов С.Т., Ильясов Б.Г., Васильев В.И. и др. Управление динамическими системами в условиях неопределенности. - М.:Наука, 1998. - 625с.

184. Кусимов С.Т., Ильясов Б.Г., Васильев В.И. и др. Проблемы проектирования и развития систем автоматического управления и контроля ГТД. - М.: Машиностроение, 1999. - 685с.

185. Епифанов С.В., Кузнецов Б.И., Богаенко И.Н. и др. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей. - Киев: Техника,1998. - 315с.

186. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей.- М.:ИПРЖР, 2000. - 416с.

187. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. - М.: СП Параграф, 2010. - 125с.

188. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г. и др. Нейронные сети в системах автоматизации. - Киев: Техника, 2009. - 362с.

189. Зозуля Ю.И. Интеллектуальные системы обработки информации на основе нейросетевых технологий. - Уфа: УГАТУ, 2000. - 138с.

190. Бывайков М.Е. Алгоритм обнаружения изменения вида модели при текущем оценивании. //Автоматика и телемеханика, №5,1993. - С.82-93.

191. Вишняков А.Н., Цыпкин Я.З. Обнаружение нарушений закономерностей по наблюдаемым данным при наличии помех.//Автоматика и телемеханика, 12, 1991. - С.128-137.

192. Olexander N. Romanyuk, Sergii V. Pavlov, Olexander V. Melnyk, Sergii O. Romanyuk, Andrzej Smolarz, Madina Bazarova Method of anti-aliasing

with the use of the new pixel model Proceedings Volume 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015; 981617 (2015).

193. Romanyuk O. N. Osoblyvosti heksahonal′noyi modeli piksela / O. V. Melnyk, O. N. Romanyuk // Mizhnarodnyy naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh», Khmelnytskyy, KHNU, 2014r. №1 (46) - 214 s. S. 91-95

194. "Bee honeycombs" from Fuji Photo Film - [Electronic resource]; Access mode:http://compress.ru/article.aspx?id=17125.

195. «Honeycomb» from Fuji Photo Film - [Electronic resource]; Access mode: http://compress.ru/article.aspx?id=17125

196. Google Glass augmented reality glasses display - [Electronic resource]; Access mode:http://www.laserfocusworld.com/articles/ print / volume-50 / issue-10 / world-news / augmented-reality-displays-pinlight-arrays-enable-lightweight-see-through-head-worn - display.htmlhttps://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=uk&tl=en&u= http://www.laserfocusworld.com/articles/%2520print/volume-50/issue-10/world-news/augmented-reality-displays-pinlight-arrays-enable-lightweight-see-through-head-worn-display.html

197. Module of photoelectric prosthesis with hexagonal pixels - [Electronic resource]; Access mode:http://www.researchgate.net/ publication / 266659406_Pinlight_Displays_Wide_Field_of_View_Augmented_Reality_Eyeglasses_using_Defocused_Point_Light_Sou rceshttps://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=uk&tl=en&u=http://www.researchgate.net/

198. Electronic paper competes with LC displays and even with plain paper - [Electronic resource];Access mode: http : // www . nanonewsnet . ru / news / 2009 / elektronnaya - bumaga - vstupaet - v- konkurentsiyu - s - lc - displeyami - dazhe - s - obyknovennoi - bumagoihttps://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=uk&tl=en&u=http://www.nanonewsnet.ru/news/2009/elektronnaya-bumaga-vstupaet-v-konkurentsiyu-s-lc-displeyami-dazhe-s-obyknovennoi-bumagoi

199. Patent Sony of Honeycomb Imager - [Electronic resource]; Access mode: https : // photorumors .com / 2010/08/03 / sony - patents - honeycomb - image - sensor

200. Heroes of Might and Magic 3 - [Electronic resource]; Access mode: https://www.ubisoft.com/ru-ru/game/heroes-of-might-and-magic-3-hdhttps://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=uk&tl=en&u=https://www.ubisoft.com/ru-ru/game/heroes-of-might-and-magic-3-hd

201. Civilization 5 - [Electronic resource]; Access mode : http://civilization5-game.ru/https://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=uk&tl=en&u=http://civilization5-game.ru/

202. Endless Legend projected on a hexagonal map - [Electronic resource]; Access mode :http://store.steampowered.com/ app / 289130 / Endless_Legend /? L = ukrainianhttps://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=uk&tl=en&u=http://store.steampowered.com/%2520app/289130/Endless_Legend/%3Fl%3Dukrainian

203. AMOLED screens for smartphones and tablets - [Electronic resource]; Access mode :http://mobiltelefon.ru/post_1359016861.htmlhttps://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=uk&tl=en&u=http://mobiltelefon.ru/post_1359016861.html

204. Nikon Patent - Honeycomb Sensor with Sub-pixel to Improve Dynamic Range - [Electronic resource]; Access mode : http://thenewcamera.com/nikon-patent-honeycomb-sensor-with-sub-pixel-to-improve-dynamic-range/

205. F. Burny. Smart orthopedic implants. Orthopedics 2005 Dec; 28 (12): 1401-2 2014 Mar; 29 (3): 453-7.

206. Holzer LA, Holzer G. The 50 highest cited papers in hip and knee arthroplasty. 2014 Mar; 29 (3): 453-7.

207. J. Steinberger, B. Skovrlj, JM Caridi, SK Cho. The Top 100 Classic Papers in Lumbar Spine Surgery. SPINE Volume 40, Number 10, pp 740 - 747, 2015, Wolters Kluwer Health, Inc.

208. Subhajit Guha, Farabi Ibne Jamal, Christian Wenger. A Review on Passive and Integrated Near-Field Microwave Biosensors. Biosensors (Basel). 2017 Dec; 7 (4): 42. Published online 2017 Sep 23.

209. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования. – М.: Academia, 1999. – 773 с.

210. Денисюк С.П. Технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 1. – С. 7–21.

211. Лукомський Д.В. Облачное будущее для солнечных электростанций в Украине. Економічна правда. 31.10.2019. URL: https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2019/10/31 /653184/ (дата звернення 20.02.2020).

212. Про основні показники роботи паливно-енергетичного комплексу України за 2019 рік «Енергоінформ» № 577 Інформаційно-аналітичне

дослідження стану паливно-енергетичного комплексу НТСЕУ. URL: https://www.ntseu.net.ua/docs/review577-202001.pdf (дата звернення 20.02.2020).

213. Техника в её историческом развитии. Отв. ред. С.В. Шухардин, Н.К. Ламан, А.С. Федоров. М.: «Наука». – Т. 1, 1979. – 416 с.; Т.2, 1982.

214. Технологии для умных городов. – СПб.: Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», 2017. – 110 с.

215. Энергоэффективный мегаполис – Smart City «Новая Москва» / под ред. В.В. Бушуева, П.А. Ливинского. – М.: ИД «Энергия», 2015. – 76 с.

216. Citron R. Smart City Tracker 1q18: Global Smart City Projects by World Region, Market Segment, Technology, and Application. – Navigant Consulting, Incorporated, 2018. – 29 p.

217. Datta A. Three big challenges for smart cities and how to solve them. – The Conversation, 2016. June 9. URL: https://the conversation.com./three-big-challenges-for-smart-cities-and-how-to-solve-them-59192 (дата звернення 10.03.2020).

218.Energy consumption in households. Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households (дата звернення: 05.05.2020).

219. How much electricity does a home use? OVO Foundation. URL: https://www.ovoenergy.com/guides/energy-guides/how-much-electricity-does-a-home-use.html (дата звернення 10.03.2020).

220. Smart Communities Guidebook: How California's Communities Can Thrive in the Digital Age. – San Diego: State University of San Diego, 1997.

221. Smart cities: Ranking of European medium-sized cities. – Vienna: Vienna University of Technology, 2007. URL: http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_ final_report.pdf

222. Smart cities: Public Safety in the Digital Age. – IBM. URL: https:// govloop.coom/blos/4001-5000/4144-Public_Safety_Digital_Age.pdf (дата звернення 10.03.2020).

223. https://guidehouseinsights.com/news-and-views/navigant-research-names-cisco-and-siemens-the-leading-smart-city-suppliers (дата звернення 10.03.2020).

224. Червяков Ю. М. Використання гіпсовміщуючих відходів промисловості в якості сировини при виробництві будівельних матеріалів і виробів / Ю. М. Червяков, Л. О. Супрун //Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2013. – №. 48. – С. 60-63.

225. Сердюк В. Р. Комплексне в’яжуче з використанням мінеральних добавок та відходів виробництва / Сердюк В. Р., Лемешев М. С., Христич О. В. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – 2009. – Вип. 33. – С. 57– 62.

226. Ковальський В.П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в’яжучого 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.

227. Лемешев М. С. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенниг відходів / М.С. Лемешев, О.В. Христич, С. Ю Зузяк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2018. – № 1. – С. 18-23.

228. Березюк О. В. Фосфогіпсозолоцементні та металофосфатні в’яжучі з використанням відходів виробництва / М. С. Лемешев, О. В. Христич, О. В. Березюк // Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні – Київ : КНУБА, 2011. – Ч. 1. - С. 125-128.

229. Сердюк В. Р. Золоцементне в’яжуче для виготовлення ніздрюватих бетонів / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О.В. Христич // Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2011. – №1(10). ¬– С. 57-61.

230. Дворкин Л. И. Известково-зольный бетон с добавками-ускорителями / Л. И. Дворкин, А. В. Мироненко, Т. П Панчук // Строительные материалы и конструкции. – 1993. – № 1. –С. 32–33.

231. Сердюк В. Р. Проблеми стабільності формування макроструктури ніздрюватих газобетонів безавтоклавного твердіння / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О. В. Христич // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. - 2011. - №40. - С. 166-170.

232. Лемешев М.С. Технологічні особливості формування електротехнічних властивостей електропровідних бетонів / М.С. Лемешев, О.В. Березюк, О.В Христич // Мир науки и инноваций. – Иваново: Научный мир, 2015. – Выпуск 1 (1). Том 10. География. Геология. Искусствоведение, архитектура и строительство. – С. 74-78.

233. Сердюк В.Р. Об'ємна гідрофобізація важких бетонів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 2. – С. 40-43.

234. Лемешев М. С. Дрібнозернистий бетон з модифікованим заповнювачем техногенного походження / М. С. Лемешев, О. В. Христич, О. В.

Березюк // Materiały XI Międzynarodowej naukowipraktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy – 2015». – Przemyśl (Poland): Nauka i studia, 2015. – Volume 23. Ekologia. Geografia i geologia. Budownictwo i architektura. Chemia i chemiczne technologie. – S. 56-58.

235. Сердюк В.Р. Технологічні особливості формування металонасичених бетонів для виготовлення радіозахисних екранів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2007. – № 4. – С. 58-65.

236. Христич О.В. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізувального випромінювання / О.В. Христич, М. С. Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – № 2. – С. 18 – 23.

237. Сердюк В.Р. Ніздрюватий бетон полі функціонального призначення / В. Р.Сердюк, О. В. Христич, П.В. Постовий // Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві. Наук.-техн. збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2013. – №2(15), С. 18-22.

238. 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). Том 13. Искусствоведение, архитектура и строительство. – С. 111-114.

239. Сердюк В. Р. Формування структури анодних заземлювачів з бетелу-м для систем катодного захисту / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О.В. Христич // Науково-технічний збірник. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, 2010, Випуск 35. – С. 99-104.

240. Лемешев М.С. Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв / М.С. Лемешев, О.В. Христич, О.В. Березюк // Materiály XI Mezinárodní vědecko-praktická konference «Aktuální vymoženosti vědy – 2015». – Praha (Chech): Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2015. – Díl 7. Fyzika. Matematika. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura. Technické vědy. – S. 60-62.

241. Сердюк В.Р. Ефективні заповнювачі для ніздрюватих бетонів / В. Р. Сердюк, О. В. Христич // Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві. Наук.-техн. збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2013. – №1(13), С. 28-32.

242. Strilec V.M. (2001) Simulation analysis of the human-machine system as a method of ergonomic assessment of emergency services. Radioelectronics&Informatics.№ 3(16). pp. 125-128

243. Andronov V., Strelec V. (2017) Operational-technical method of time reducing of localization by fire and rescue department of emergency situation of ecological character with hazardous chemical emission. TechnogenicandEcologicalSafety.№ 1. pp. 8-14

244. Strilec V.M., Borodich P.Y. (2004) Multivariate assessment of fire and rescue operations at subway stations. ProblemsofFireSafety. № 15. pp. 208-214

245. Vasil`ev M.V., Strelec V.M. (2014). About regularities of lifeguards activities on elimination of consequences to accidents with release of a hazardous chemical. Technosphere Safety Technologies. № 1 (53), 2014. Available at: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-1/16-01-14.ttb.pdf

246. Voznesenskiy V.A. (1981) Statisticheskiyemetodyplanirovaniyaeksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikhissledovaniyakh. Finansy i statistika. 263 P.

247. Гилёв В. В. Обеспечение экологической безопасности промышленного региона / В.В. Гилёв, В.Н. Макарова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ:, 2015. - №4 (205). – 75 с. – С. 62–67.

248. Гільов В. В. Методика експрес-оцінки якості та безпеки життєдіяльності населення по фактору «шумове забруднення примагістральної території з садибною забудовою від автотранспорту» / В. В. Гільов // Новини науки Придніпров'я : Науково-практичний журнал. — Дніпропетровськ : ПДАБА, 2011. — № 4. — С. 107—110.

249. Самойлюк Е. П. Борьба с шумом в населенных пунктах / Самойлюк Е. П., Денисенко В. И. , Пилипенко А. П. — К. : Будівельник, 1981. — 144 с.

250. Road traffic noise and health-related quality of life : A cross-sectional study [Электронный ресурс] / D. Welch, D. Shepherd, K.N Dirks, D. McBride, S. Marsh // Noise & Health — Vol.15. — 2013. — P. 224–230 — Режим доступа к статье http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2013;volume=15;issue=65;spage=224;epage=230;aulast=Welch

251. Карагодина И. Л. Борьба с шумом в городах / Карагодина И. Л. , Осипов Г. Л., Шишкин И. А. — М. : Медицина, 1972. — 159 с.

252. Зельцер Э. Градостроительные аспекты защиты от шума / Э. Зельцер — М. : Стройиздат, 1979. — 72 с.

254. Охрана труда в строительстве : учебник / [А. С. Беликов, В. В. Сафонов и др.]; Под общ. ред. А. С. Беликова. — К. : Основа, 2014. — 592 с.

255. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбіщних територій: ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. – Издание официальное. – К.: Мінрегіон України, 2014 – 42 с.

256. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий / [Заборов В. И. и др.].; под ред. Заборова В. И. — К. : Будивэльнык, 1989. — 160 с. : ил. — (Охрана окружающей среды).

257. Засоби зменшення негативного впливу на населення від автомобільної дороги на прикладі м. Підгороднє. / Ріпний О.Ю., Глобчак Б.В., Гільов В. В., Ткач Н.О. // Молодь: наука та інновації: Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, 19 листопада 2018 р. – Дніпро, 2018. – Т. 10. екологічні проблеми регіону. – С. 89-90.

258. Саньков П.М., Запорожець В.І., Турчанінова Ю.О. Перспективи впровадження технологій Smart City в світовій практиці/ The 14 th International scientific and practical conference «ACTUAL PROBLEMS OF SCIENCE AND PRACTICE» (27-28 April, 2020). Stockholm, Sweden 2020. 673 p (569-573)

259. Саньков П.М., Запорожець В.І., Бенхамму М.М. Розробка методики оцінки містобудівних властивостей міст за різними факторами з метою виявлення їх відповідності вимогам SMART SITY (SS)/ The 14 th International scientific and practical conference «ACTUAL PROBLEMS OF SCIENCE AND PRACTICE» (27-28 April, 2020). Stockholm, Sweden 2020. 673 p (574-578)

260. Основні вимоги до будівель і споруд безпека життя і здоров'я людини та захист навколишнього природного середовища: ДБН В.1.2-8-2008. – [Чинний від 2008-10-01] – К.: Мінрегіон України, 2008 – 22 с. – (Державні будівельні норми).

261. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT) : ДСТУ Б EN 15251:2011 – [Чинний від 2013-01-01] – Київ: Мінрегіон України, 2012 – 71 с. – (Національний стандарт України).

262. Захист територій, будинків і споруд від шуму: ДБН В.1.1 – 31:2013. – [Чинний від 2013-12-27] – К.: Мінрегіон України, 2014 – 54 с. – (Державні будівельні норми).

263. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : ДГН 6.6.1. –6.5.001-98. – [Чинний від 2000-07-12] – К.: Міністерство охорони здоров’я, 1997 – 34 с. – (Державні гігієнічні нормативи).

264. Экспресс-методика оценки качества системы зеленых насаждений (КБЖД области благополучия “рекреация”) [Текст] : тез. доп. Міжнар. н.-практ.

конф. / Е.П. Самойлюк, П.Н. Саньков, Б.І. Маковецкий, А.В. Челноков, В.В. Гилёв, С.С. Науменко. – Макіївка, ДонДАБА, 2002. – С. 23–27

265. Розробка інноваційної методики оцінки якості та безпеки життєдіяльності територій і об'єктів містобудування на прикладі місцевості «Дніпровські пороги» / Саньков П.М., Ткач Н.О., Гилев В.В., Єрмолаєва Ю.П., Лук'яненко В.А. Международный научный журнал: сборник научных трудов – К. : ISSN 2410-213X (Print), 2016. – Вып. 5 – 94 с. - С. 75-79

266. Sankov P., Trifonov I., Tkach N., Hilov V., Bakharev V., Tretyakov O., Nesterenko S. Development of the method of evaluation the level of environmental safety of housing accommodation and its approbation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 4/10 (88) 2017 DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108443. P. 61-69, 79-80

267. Мусієнко М. М. Екологія рослин : підручник / М. М. Мусієнко. Екологія рослин. К. : Либідь, 2006. - 432 с.

268. Ольхович О. П. Фітоіндикація та фітомоніторинг / О. П. Ольхович, М. М. Мусієнко. К. : Фітосоціоцентр, 2005. - 64 с.

269. Шендрик В. І. Основні аспекти діяльності органів Державної прикордонної служби України з охорони навколишнього природного середовища та забезпечення екологічної безпеки персоналу. Науковий вісник Прикордонних військ: Науково-практичний альманах. Видавництво Національної академії ДПСУ, 2004. № 1. - С. 9-12.

270. Subrahmanyam C. B. Principles of ecology / C. B. Subrahmanyam. – 2. ed. –Boston : WCB: McGraw-Hill, 1998. – 379 p.

271. Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням. Режим доступу : http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_022/print1383768253786647.

272. Буковинський В. С. Аналіз інвестиційних механізмів Кіотського протоколу / В. С. Буковинський, Т. М. Чорна, Н. А. Гусятинська // Збірник наукових праць Ірпінської фінансово-юридичної академії (економіка, право). 2013. № 2. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/znpifyua_2013_2_4.pdf.

273. Бут Ю. С. Формування спільної екологічної політики Європейського Союзу : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.02. Київ., 2011. - 257 с.

274.G20 Climate Finance Study Group – Report to Ministers, 2014. – Режим доступу : https://g20.org/resources

275.Виконання стратегії національної екологічної політики у сфері природнозаповідної справи : оцінка громадськості : зб. матеріалів до Ком.

слухань у Верховній Раді України «Природно-заповідний фонд: проблеми та шляхи вирішення» / Всеукр. екол. ліга, Нац. екол. рада України, Київ. екол.-культ. центр ; [відп. ред. Тимочко Т. В.]. К. : Центр екол. освіти та інформації, 2013. - 111 с.

276.Глобальні зміни клімату : економіко-правові механізми імплементації Кіотського протоколу в Україні / ред. В. Я. Шевчук ; ПРООН, Ін-т законодавства Верховної ради України. К. : Геопринт, 2004. - 149 с.

277.Блінніков Г. П., Боровик О. В. Методологічні засади екологічного моніторингу в Державній прикордонній службі України : навчальний посібник. Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2014.- 400 с.

278.Артамонов Б. Б. Технічний аспект екологічної безпеки експлуатації автомобільної техніки багатоцільового призначення Державної прикордонної служби України. Науковий вісник Державної прикордонної служби України: Науково-практичний альманах. Видавництво Національної академії ДПСУ, 2004. № 1. - С. 13-15.

279.Блінніков Г. П., Шевчук В. М., Дацюк Л. С. Основи практичної екології : навчально-методичний посібник. Хмельницький : Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2011. – 320 с.

280. Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології : навчальний посібник. К. : Лібра, 2004. - 368 с.

281. Shevchenko R., &Strelets V. (2020). Mathematical model of cyclic loads of a protective device for the prevention of emergencies related to the impulse nature of the release of a hazardous chemical.Problems of Emergency Situations. № 2(30). pp. 138-146. Available at: http://doi.org/10.5281/zenodo.3647984

282. Popov I.I. Zakhysnyyprystriytransportuvannya ta znyshchennyavybukhonebezpechnykhpredmetiv[Protective device for transporting and destroying explosive objects]. Patent UA, no 120327, 2019.

283. Software package FlowVision. Available at: http://www.tesis.com.ru/software/flowvision/

284. Kusyi, Ya.M.,Kuk, A.M. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1426, (2020).https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012034/pdf

285. Denkena, B., Schmidt, J., Krüger, M. Data mining approach for knowledge-based process planning. Conference Proceedings of the 2rd International

Conference on System-Integrated Intelligence, Bremen, Germany, July 2nd-4th 2014, pp. 407-416. Elsevier, Amsterdam (2014).

286. Dwivedi, D.K. Surface Engineering Enhancing Life of Tribological Components Springer (India) Pvt. Ltd, (2018).

287. Gontarz, A. M., Hampl, D., Weiss, L., Wegener, K. Resource Consumption Monitoring in Manufacturing Environments. Procedia CIRP, 26(1), 264–269, (2015).

288. Kusyi, Ya.,Kuk, A., Kostiuk, O. Use of vibration technologies for ensuring quality parameters of products surfaces. Materials of 19th International Conference on Thermal Science and Engineering of Serbia – SIMTERM 2019, Sokobanja, Serbia, October 22–25, 2019. http://simterm.masfak.ni.ac.rs/index.php/en/.

289. Denkena, B., Mörke, T., Krüger, M., Schmidt, J., Boujnah H., Meyer, J., Gottwald, P., Spitschan, B., Winkens, M. Development and first Applications of Gentelligent Components over their Life-Cycle.CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 7(2), 139-150, (2014).

290. Gubaydulina, R.H., Gruby, S. V., Davlatov, G. D. Analysis of the Lifecycle of Mechanical Engineering Products. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 142 (1), Article number 012060, (2016).

291. Winkens, M., Goerke, M., Nyhuis, P. Use of Life Cycle Data for Condition-Oriented Maintenance. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering 9 (4), Riverside, CT, USA: International Scientific Committee, 1178-1181. (2015).

292. Lachmayera, R., Mozgovaa, I., Reimcheb, W., Colditzc, F., Mrozb, G., Gottwalda, P. Technical inheritance: A concept to adapt the evolution of nature to product engineering. pp. 178–187, (2014).

293. Demminger, C.,Mozgova, I.,Quirico, M.,Uhlich, F., Denkena, B., Lachmayer, R.,Nyhuis, P. The Concept of Technical Inheritance in Operation: Analysis of the Information Flow in the Life Cycle of Smart Products. In.: uh3rd International Conference on System-integrated Intelligence: New Challenges for Product and Production Engineering, SysInt, pp. 79-88. Procedia Technology, Elsevier (2016).

294. Blumenstein, V., Rakhimyanov, K., Heifetz, M, Kleptzov, A. Problem of technological inheritance in machine engineering.AIP Conference Proceedings, 1698 (1), 2-7, (2016).

295. Blumenstein, V., Mahalov, V., Shirokolobova F. Finite Element Modeling of Strengthening Process by Means of Surface Plastic Deformation Using a

Multiradius Tool. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 253, 1-12, (2017).

296. Murakami, S. Continuum Damage Mechanics – A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture. Springer: Dordrecht, Heidelberg, London, New York, (2012).

297. Скрябин С.А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах. – Винница, 2007. – 284 с.

298. Определение уширения при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов в условиях, приближенных к изотермическим / Скрябин С.А., Швец Л.В. // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 2009. – № 55. – С.106-112.

299. Технічний сервіс в АПК. Том І. Навчальний посібник. / Швець Л.В., Паладійчук Ю.Б., Труханська О.О./ Вінницький національний аграрний університет, 2019. – 647с.

300. Characteristics and thermomechanical modes of aluminum alloys hot deformation /M. Pulupec, L. Shvets // ISSPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, Ternopil, 2019. Ternopil Ivan Puluj National Technical University and Scientific Publishing House «SciView». ISSN: 978-966-305-101-7, pp 195-204.

301. Influence of a material and the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings /Posviatenko E., Posviatenko N., Budyak R., Shvets L., Paladiichuk Y., Aksom P., Rybak I., Sabadash B., Hryhoryshen V./ Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2018. - № 5/12 (95). ISSN 1729-3774 - P. 48-56.

302. Кэйс В.М. Конвективный тепло- и массообмен /В.М.Кэйс; пер. с англ. И.Н.Дулькина. – М.: Энергия, 1972. – 448 с.

303. Sparrow E.M. Crossflow heat transfer for tubes with periodically interrupted annular fins /E.M. Sparrow, T.A. Myrum //Int. Yorn. of Heat and Mass Transfer. - 1985. - Vol.28. - №2. - p.509-512.

304. Кунтыш В.Б. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения /В.Б. Кунтыш, Н.М. Кузнецов. – С-Пб.: Энергоатомиздат, 1992. – 280 с

305. Результаты исследования теплообменных труб с разрезными поперечными ребрами /Кокарев Б.И., Вишневский В.Г., Семенов С.М. Плаксин Ю.В. //Теплоэнергетика. - 1978. - №2. - с.35-37.

306. Кунтыш В.Б. Интенсификация теплоотдачи трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения насечкой кромок спиральных накатных ребер /В.Б.Кунтыш, А.Э.Пиир //Изв. вузов. - сер. Энергетика. - 1991. - №8. - с.111-115.

307. Письменный Е.Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребренных труб /Е.Н.Письменный. – К.:Альтерпрес, 2004. – 244 с.

308. Фраас А. Расчет и конструирование теплообменников /А.Фраас, М.Оцисик; пер. с англ. Ю.А.Зейгарник, О.П.Прядкина, В.Я.Сидорова. – М.: Атомиздат, 1971. – 358 с.

309. Weirman C. Correlations Ease the Selection of Finned Tubes /C. Weirman //Oil and Gas Journ. – 1976. – Vol.74. - №36. – p. 94-100.

310. Ganpathy V. Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators: Design Applications and Calculation [Text] / V. Ganpathy. – First Edition. – Marcel Dekker. – New York. – 2003. – p.618.

311. Юдин В.Ф. Теплообмен поперечно оребренных труб /В.Ф.Юдин. – Л.: «Машиностроение», 1982. -189 с.

312. Терех А.М. Теплообмен и аэродинамика поперечно-омываемых пучков труб с винтовым, подогнутым и сегментным оребрением: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.06 /Терех Александр Михайлович. - К., 1997. - 16с.

313. Теплообмен в шахматных пучках труб со спирально-ленточным разрезным оребрением /Письменный Е.Н., Терех А.М., Рогачев В.А. и др. //Промышленная теплотехника. - 2007. - т.29 - №6. - с.15-22.

314. Терех А.М. Среднеповерхностный теплообмен поперечно-омываемых коридорных пучков труб с разрезным спирально-ленточным оребрением /А.М.Терех, О.Е.Шаповал, Е.Н.Письменный //Промышленная теплотехника. - 2001. - т.23. - №1-2. - с.35-41.

315. Шаповал О.Е. Аэродинамическое сопротивление поперечно-омываемых коридорных пучков труб с разрезным оребрением /О.Е. Шаповал, Е.Н.Письменный, А.М.Терех //Промышленная теплотехника. - 2001. - т.23. - №4-5. - с.63-68.

316. Филиппов Э.Б. Численное исследование тепловой эффективности трубчатой поверхности нагрева с разрезным спирально-ленточным оребрением /Э.Б.Филиппов, Г.Б.Черепенников, Т.Г.Лещенко //Теплоэнергетика. - 2010. - №7 - с.46-50.

317. Письменный Е. Н. Тепло-аэродинамические характеристики пучков труб с сегментным оребрением [Текст] / Е. Н. Письменный, А. М. Терех,

О._Е._Матвиенко // Промышленная теплотехника. – 1999. – т.21. – №4. – С.76–79.

318. Numerical Investigation for the Optimization of Serrated Finned-Tube Heat Exchangers [Text] / Lemouedda A., Schmid A., Franz E. at al // Applied Thermal Engineering. – 2011. – 31. – p. 1393–1401.

319. Study on Heat Transfer Characteristics of Fin-Tube Heat Exchangers with various Fin Shapes [Text] / Dae Hee Lee, Seung Ho Han, Jin Jae Shin, Hyun Jin Park // Proceeding of Asian Conference on Thermal Sciences 2017, 1st ACTS. March. 26–30, 2017, p. 1–5, Jeju Island, Korea.

320. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя /Г.Шлихтинг; пер. с нем. Г.А.Вольперта, Л.Г.Лойцянского. - М.: Наука, 1974. – 712 с

21. Себиси Т. Конвективный теплообмен /Т.Себиси, П.Брэдшоу; пер. с англ. С.С.Ченцова, В.А.Хохрякова. - М.: Мир, 1987. – 592 с.

322. Патанкар С. Тепло- и массообмен в пограничных слоях /С.Панаткар, Д.Сполдинг; пер. с англ. З.П.Шульмана, Г.Н.Пустынцева. - М.: Энергия. - 1971. – 128 с.

323. Методы расчеты турбулентных течений … под ред. Кольмана В.- М.: Мир, 1984. – 464 с.

324. Численные методы исследования течений вязкой жидкости /А.Д.Госмен., В.М.Пан., А.К.Рангел. и др.; под ред. А.Д.Госмена. -М.: Мир, 1972. – 328с.

325. Эмери. Численный расчет турбулентного течения и характеристики теплоотдачи на начальном участке плоскопараллельного канала /Эмери, Гесснер //Теплопередача. - 1974.- №4. - с.65-72.

326. Пасконов В.М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена /В.М.Пасконов, В.И.Полежаев, Л.А.Чудов. - М.: Наука, 1984. - 288с.

327. Математическая модель гидродинамики и теплообмена в плоскопараллельных каналах с прерывистыми стенками /А.Ф.Редько, И.В.Галущак, В.Я.Горбатенко, А.А.Шевелев //Коммунальное хозяйство городов: научно-техн. сборник, серия: технические науки. - К.: ”Техніка. - 2000. - вып. 22. - с.171-175.

328. Маллисен Р.С. Исследование механизмов течения, обусловливающих интенсификацию теплоотдачи в теплообменниках с разнесенными пластинами /Р.С.Маллисен, Р.И.Лерке //Transactions of the ASME. – ser ”C”. - (русский перевод: Теплопередача. - 1986. - №2. – с.112-123).

329. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – СПб. – 1998. – 256 с. (под ред. С.И. Мочана, А.А.Абрютина, Г.М.Кагана, В.С.Назаренко).

330. Михеев М.А. Основы теплопередачи /М.А.Михеев, И.М.Михеева. - М.: Энергия, 1977. - 318 с.

331. Ковалевский В.П. Расчет на ЭВМ термодинамических и теплофизических свойств воздуха и продуктов сгорания органических топлив /В.П.Ковалевский, Н.И.Федорова //Теплоэнергетика. - 1978. - №12. - с.86-87.

332. Galushcak I.V. A Method for Numerically Simulating the Thermal State of a Tube with Punched Helical-Tape Finning /I.V.Galushcak, V.Ya.Gorbatenko, A.A.Shevelev //Thermal Engineering. - 2011. - Vol.58. - №5. - p.435-439.

333. Galushcak I.V. Numerical Investigation of Heat Transfer tu a Tube with Punched Spiral-Tape Finning under a Transverse Flow of Gases /I.V.Galushcak. V.Ya.Gorbatenko. A.A.Shevelev //Thermal Engineering. - 2012. - Vol.59. - №1. - p.p.70-74.

334. STANAG 4370 AECTP 500:2016 Electromagnetic environmental effects test and verification. NATO Standardization Agency, 2016.-1125 p.

335. Караван В. В. Метрологія і стандартизація : навч. посіб. / В. В. Караван. – Рівне : НУВГП, 2011. – 101 с.

336. Ромашко В.М. Обстеження та випробування споруд: Практикум. – Рівне: РДТУ, 1999. – 117 с.

337. Измеритель прочности материалов ОНИКС-1 модификация ОНИКС-1.ОС. Руководство по эксплуатации. – Челябинск, 2014 г. – 43с.

338. Slyusar, V.I. (2017). Bazovi stancii stilnykovogo zvjazku jak dgerelo meteorologichnoi informacii [Cellular base stations as a source of meteorological information]. Priority Development of Telecommunication Systems and Special Designation: X Naukovo-practychna conferencia – X scientifically-practical conference (p. 222) (in Ukrainian).

339. Zinchenko, A., Slyusar, V., Korolyuk, N., & Korshets, E. (2019). The Method of Open Space Selection of Signals for Redcom Systems. 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (pp. 404-408). Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic National University. – DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847826.

340. Sliusar, I.I., Slyusar, V.I., Polishchuk, Y.V. & Stas, E.I. (2018). Analysis of space-frequency characteristics of a quasi-fractal DRA based on a cube and truncated pyramid. Nauka i studia, 11, 3-12.

341. Sliusar, I.I., Slyusar, V.I., Voloshko, S.V. & Smolyar, V.G. (2018). Synthesis of quasi-fractal hemispherical dielectric resonator antennas. IEEE 2018 5th International ScientificPractical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (pp. 313-316). Kharkov, Ukraine.

342. Tahan, O.O., Sliusar, I.I., Slyusar, V.I. & Hrebelia, R.E. (2018). Quasifractal dielectric resonator antenna based on the symmetric hexagon. Nauka i studia, 7, 113-123.

343. Kolisnyk, A.V., Slyusar, V.I., Sliusar, I.I. & Samofal, V.V. (2018). Investigation of the overlapping effect of dielectric resonator antennas elements on the basis of a cylinder. News of Science and Education, 3, 68-74.

344. Semenov, V.M, Slyusar, V.I., & Sliusar, I.I. (2018). Quasi-fractalna dielektrychna rezonatorna antenna na osnovi paralelepipeda [Quasi-fractal dielectric resonator antenna based on a parallelepiped]. Systemy upravlinnja, navigacia ta zvjazok – Control, navigation and communication systems, 2, 161-171 (in Ukrainian).

345. Grabelja, R.E., Sliusar, I.I. & Slyusar, V.I. (2018). Doslidgennja vplyvu perekryttja elementiv dielektrychnyh rezonatornyh anten na osnovi conusu [Investigation of the influence of overlapping elements of dielectric resonator antennas based on a truncated cone]. Systemy upravlinnja, navigacia ta zvjazok – Control, navigation and communication systems, 2, 142-148 (in Ukrainian).

346. Sliusar, I.I., Slyusar, V.I., Voloshko, S.V., Degtyareva, L.N. (2019). Antenna synthesis based on fractal approach and DRA technologies. IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (pp. 29-34). Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic National University.

347. Sliusar, I.I., Slyusar, V.I., Voloshko, S.V. Zinchenko, A.O., & Degtyareva, L.N. (2019). Synthesis of quasi-fractal ring antennas. IEEE 2019 6th International ScientificPractical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (pp. 741-744). Kyiv, Ukraine.

348. Sliusar, I.I, Slyusar, V.I., Voloshko, S.V., & Smolyar, V.G. (2015). Converged Solutions for Next Generation Optical Access. IEEE 2015 Second International ScientificPractical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (pp. 149-152). Kharkiv, Ukraine.

349. Sliusar, I.I., Slyusar, V.I., Voloshko, S.V. & Smolyar, V.G. (2018). The multi-band antenna based on fractal. News of Science and Education, 2 (58), 32-43.

350. Sliusar, I.I., Slyusar, V.I., Chernikov, R.A., & Tokar, Y.V. (2020). Synthesis to the segment of network 5G with support of IoT. Nauka i studia, 7 (209), 70-75.

351. Vishnevsky, V.M., Liachov, A.I., Portnoj, S.L. et al. (2005). Shirokopolosnye besprovodnye seti peredachi informacii [Broadband wireless communication networks], Moscow: Technosphera (In Russian).

352. Slyusar, V.I. (2007). Dielektrycheskie rezonatornye antenny. Malye razmery, bolschie vozmognosti. Chasti 1, 2 [Dielectric resonator antennas. Small size, great opportunity. Vol. 1, 2]. Electronica: nauka, tehnologia, bisnes – Electronics: Science, Technology, Business Vol. 1, 2, 28-37, Vol. 2, 4, 89-95 (In Russian).

353. Slyusar, V.I. (2007). Fractalnye antenny. Pricipalno novy tip “lomanyh”. Chasti 1, 2 [Fractal antennas. A fundamentally new type of “broken” antennas. Vol. 1, 2]. Electronica: nauka, tehnologia, bisnes – Electronics: Science, Technology, Business Vol. 1, 5, 78-83, Vol. 2, 6, 82-85 (In Russian).

354. Assessment of Ultra-Wideband (UWB) Technology. (1990). OSD/DARPA Ultra-Wideband Radar Review Panel, Battelle Tactical Technology Center, Contract No. DAAH01-88-C-0131, ARPA Order 6049.

355. Ginzburg M.Ya. Style and era. - Moscow, 1924.

356. Leibfreyd A.Yu., Reusov V.A., Tits A.A. Kharkov: Architecture, monuments, new buildings. Guide. - Kharkov: Prapor, 1985 .-- 151 p., Ill.

357. The law of Ukraine “On the protection of cultural heritage”. Electronic resource. Access Mode: http://search.ligazakon.ua/

358. Ostashchenko - Kudryavtseva Z.B. Chronicle of the creative life of academician of architecture A.N. Beketova. Part 1, part 2. Manuscript. - Department of "Ukrainika" KSNB them. V.G. Korolenko.

359. Dudukina D.A. A.N. Beketov (1862-1941). Creative activity and contribution to the development of architecture of the south of Russia and Ukraine at the end of the 19th - first third of the 20th centuries. Abstract for the degree of candidate of architecture. - Moscow, 2008 .-- 24 p. Electronic resource. Access mode: http://www.dissercat.com/ (04/27/2020).

360. Podyapolsky S. S., Bessonov G. B., Belyaev L. A., Postnikova T. M. Restoration of monuments of architecture. - M .: Stroyizdat, 1988 .-- 264 p., Ill.

361. Kovriga V. A. Problems of protection, research and scientific attribution of architectural monuments. Views of the young scientists 21st century who study the sights., Collection of scientific articles on the protection of attractions. - Kharkov: Cursor, 2011. - Issue 2. - S.125-132.

362. Дробаха, Г. А. Створення просторових даних для електронних карт геоінформаційної системи внутрішніх військ МВС України: монографія / Г. А.

Дробаха, Л. В. Розанова, В. Е. Лісіцин, Харків: Акад. внутр. військ МВС України, 2013. 200 с.

363. Han J., Kamber M., Pei J. Data mining. Concepts and techniques: textbook. Waltham, MA 02451, USA: ELSEVIER, 2012. 703 p.

364. Myatt Glenn j., Making sense of data I. Second Edition. Glenn j. Myatt, Wayne P. Johnson, WILEY, New Jersey, USA, 2014. 235 p.

365. Грубер Мартин, Понимание SQL. Мартин Грубер, Москва: BHV, 1993. 291 с.

366. Patrick John J. SQL Fundamentals. Third edition / John J. Patrick, Boston: Prentice Hall, 2009. 803 p.

367. Левин Дэвид, Статистика для менеджеров с использованием Microsoft Excel. Четвертое издание. / Дэвид М. Левин, Дэвид Стефан, Тимоти С. Кребиль, Марк Л. Беренсон, К.: Вильямс, 2005. 1312 с.**

368. Kantardzic Mehmed. Data mining. Concepts, models, methods and algoriths. Second edition. / Mehmed Kantardzic, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011. 381 p.

369. Пэрент, Р. Компьютерная анимация. Теория и алгоритмыю / Р. Пэрент, Москва: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. 554 с.

370. Гурвич М. М. Г 95 Лечебное питание. Полный справочник / М. М. Гурвич, Ю. Н. Лященко. — М.: Эксмо, 2009. — 800 с. — (Новейший медицинский справочник).

371. Иванов, Р.Б. Периоперационное энтеральное питание больных при операциях на желудке: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. медиц. наук (14.01.17) / Иванов Руслан Борисович; кандидат медицинских наук. – Астрахань, 2011.

372. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Петухов А.Б. Питание человека (основы нутрициологии). М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2002. 572 с.

373. Основы клинического питания/ Материалы лекций для курсов Европейской ассоциации парентерального и энтерального питания. Петрозаводск: "ИнтелТек", 2003. 412 с.

374. Пат. 2262240 Российская Федерация, МПК A23C23/00. Продукт энтерального питания "Унипит" / Попова Т.С. (RU), Тутельян В.А. (RU), Круглик В.И. (RU), Шестопалов А.Е. (RU), Гмошинский И.В.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "Компания "Нутритек" (ЗАО "Компания "Нутритек"); заявл. 28.01.2004; опубл. 20.10.2005.

375. Рекомендации по парентеральному и энтеральному питанию для взрослых. Австрийское общество клинического питания. Вена: AKE, 2003. 94 с.

376. Снеговой, А.В. Раннее энтерально-зондовое питание после операций у больных раком желудка: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. медиц. наук (14.00.14) / Снеговой Антон Владимирович; кандидат медицинских наук. – Москва, 2004.

377. Чарльз В., Ван Вэй, Кэрол Айертон Джонс. Секреты питания. М.: Бином, 2006. 311 с.

378. Шестопалов А.Е., Энтеральное питание – основа лечебных мероприятий при различных заболеваниях // Эффективная фармакотерапия. Онкология, Гематология и Радиология" №1/2010

379. Шевченко В.П. Клиническая диетология / Под ред. академ. РАМН В.Т. Ивашкина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 256 с. – (Серия «Библиотека врача-специалиста»).

380. https://compendium.com.ua/kp/330050/modulen-ibd-smes_/

381.https://www.piluli.ru/product/nutrijen_jelemental

382. Цеков-Карандаш Ц. О втором золотом сечении. – София, 1983.

383. Волошинов А.В. Пифагор. /А.В. Волошинов//- М: Просвещение, 1993 г.

384. Леонардо да Винчи: жизнь, творчество, произведения. ИДДК, DISC-0521, ООО “Бизнессофт”, Россия, 2004.

385. Museum of Harmony and Golden Section. New book is coming soon. The mathematics of harmony. - Режим доступа:

http://www.goldenmuseum.com/index engl.html.

386. Ковалев Ф.В. Золотое сечение в живописи. К.: Вища школа, 1989. – Режим доступа: http://www.abc-people.com.

387.Out of Thin Air. Building above London’s rail lines.Інженерне бюроWSP. URL:https://www.wsp.com/en-GB/campaigns/rail-overbuild

388. Швець Л. М. Місто будівні принципи формування залізничних вокзальних комплексів у структурі малих та середніх міст. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата архітектури — Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2018.

389. DingjanM. Arailway station as a public space M A Japanese Studies, Leiden University M A Thesis.

390. Офіційний сайт архітектурного бюро COBE. URL: https://www.cobe.dk/

391.Гузий А.Г. Методологический подход к управлению риском выхода параметров полета за эксплуатационные ограничения Сб.трудов Общества независимых расследователейавиационных происшествий Вып. №21:М.:, 2008.– С.213–221

392. Казак В.Н. Диагностическое обеспечение экипажа воздушного судна информацией о состоянии его внешних обводов в полете./ В.Н.Казак, А.Е. Бабенко, И.С. Жарин // Вісник інженерної академії України.Теоретичний і науково-практичний журнал інженерної академії України № 4, 2015р. – Київ – С. 33-39

393. Мердер Д.Д. Применение рассчитанных заранее законов управления в реконфигурируемой системе управления полетом // Д.Д.Мердер, Н.Хальо, Дж.Бруссард, А.К.Каглайан .–М.: Мир, Аэрокосмическая техника, №12 1989. – С.33-42

394. Патент України на корисну модель інформаційної системи діагностування пошкоджень зовнішніх обводів літального апарату у польоті №78381 заявл. 14.09.12; опубл. 10.03.2013 № 5, 4 – С. / В.М. Казак, Д.О. Шевчук, А.Є Бабенко

395. Казак В.М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті. / В.М.Казак. –К.: Вид-во Нац.авіац.ун-ту «НАУ-друк», 2010.–284с.

396.Adaptive controller for wing flutter with immeasurable excitations and unmodelled dynamics/ R. Livneh, G.Slater// International Journal of Control, Volume 53, 1991 – P.293–309.

397. Fault detection for reconfigurable if light control system. Mayhew, Ellen R. Gleason Daniel AIAA/LEEE 8th: Dig , Avionics Syst.Conf., Son Jose, Calif., 1988. Coldct.Techn.Pap. Pt.1, “Washington,D.C., 1988,48–55

398. Flight-testing of the self-repairing flight control system using the F-15 highly integrated digital electronic control flight research fexitity. Steward J.F., Shuck T.I., “AIAA”, 1990, №321 P.1–13

399. Патент України на корисну модель: система автоматичного діагностування аеродинамічного стану зовнішнього обводу літального апарату у польоті. – №62925; заявл. 28.01.11; опубл. 26.09.2011; бюл. №18– 4с./ В.М. Казак, Д.О. Шевчук,А.Є. Бабенко, Р.В.Остафійчук.

400. Stuart A. Gilder, Michael Wack, Leon Kaub, Sophie C. Roud, Nikolai Petersen, Helmut Heinsen, Peter Hillenbrand, Stefan Milz, and Christoph Schmitz/

Distribution of magnetic remanence carriers in the human brain // Scientific Reports Volyme, 11363 (2018)

401.Reconfigurableflightcontrolsystemdesignforaircraftwhenunexpectedproble moccursduringflight / Шевчук Д.О., Безкоровайний Ю.Н., Тачиніна О.М.// Методи та системи навігації та контроля рухом:з. праць 2-ї між нар. конференції, 9-12 жовтня 2012. – К. – 2012. – С.

402. Патент Украины на корисну модель спосіб діагностики зовнішнього обводу літального апарата на основі температурного поля площини літального апарата в польоті. – №73709; заявл. 14.02.12; опубл. 10.10.2012; бюл. №19 – 4с. / Казак В.Н., Шевчук Д.О., Бабенко А.Е.

403. Polozhaenko, S. A. Forecasting modeling of the condition of a non-trailing mobile railway and a class of bulk, brake and pulled cargoes to be carried in / S. A. Polozhaenko, O. V. Rudkovsky // Colloquium -journal. — 2020. — № 5(57). — P. 30 — 33. DOI: 10.24411/2520-6990-2020-11438.

404. Положаєнко, С. А. Математичні моделі наливних вантажів, що перевозяться залізницею у вагонах-цистернах / С. А. Положаєнко, О. В. Рудковський // Праці VII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негауссівських процесів». Тези доповідей. — Черкаси: ЧДТУ, 23 — 24 травня 2019. — С. 55 — 58.

405. Рудковський, О. В. Математичні моделі наливних вантажів, що перевозяться у вагонах-цистернах / О. В. Рудковський // Матеріали IX Міжнародної наукової конференції «Modern Information Technology — 2019» (23 — 24 травня 2019 р., Одеса) / МОН України; ОНПУ, ІКС. — Одеса: Екологія. — С. 78 — 80.

406. Teodorovic, D. TransportationSystems/ D. Teodorovic, M. Janic // TransportationEngineering. – 2016. – N2. – P. 5–62.

407. Prokudin G. ApplicationofInformation Technologies fortheOptimizationofItinerarywhenDeliveringCargobyAutomobileTransport / G.Prokudin, O. Prokudin, O. Chupailenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-EuropeanJournalofEnterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907).

408. Prokudin G. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / G. Prokudin, O. Chupailenko, O. Dudnik, A. Dudnik, D. Omarov // Eastern-EuropeanJournalofEnterprise Technologies. 2016. N. 6/3 (84). P. 54-61. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2016.85211).

409. Batyrev V.M. Stations. M.: Stroyizdat, 1988. 216 p.

410. Zaporozhtsev G.P., Yakushin S.I. New railway stations. M., Transjeldorizdat, 1957. – 462 p.

411. Ozhegov S. S. Model and re-construction in Russia in the 18th -XIX centuries. M.: Stroyizdat 1984. – 168 p.

412. Herceg K. Design and construction of bus and rail stations. M.: Stroyizdat, 1985. – 318 p.

413. Agde G., Nagel A., Rikhter Yu. (1988). Proektirovanie detskikh igrovykh ploshchadok [Design of children's playgrounds] Transl. from German. Moscow, Stroyizdat Publ. [In Russian]

414. Vabelina E.V. (2005). Poisk novykh form v landshaftnoi arkhitekture [The search for new forms in landscape architecture]. Moscow, Arkhitektura Publ. [In Russian]

415. Krizhanovskaya N.Ya. (2005). Osnovy landshaftnogo dizaina [Basics of Landscape Design]. Rostov-na-Donu, Feniks Publ. [In Russian]

416. Votinov M. A. Pedestrian streets and pedestrian zones as objects of the humanization of the urban environment / Traditions and innovations in architectural and architectural design. Volume of Science Prac. – Kh .: KhDADM, 2015. – № 1 – pp. 83–87.

417 Mikhailov S. M., Belov M. I., Mikhailov A. S. Pedestrian street design. Textbook for students majoring in "Design of the architectural environment". – Kazan: Design Quarter, 2012. – 150 p.

418. Belov M. I., Mikhailova A. S. Pedestrian street as the culmination in the development of urban culture of the XX century / Scientific and Practical Design and Architecture Magazine "Design Review", 2010, № 1. – http://design-review.net/index.php?show=article&id=228&year=2010&number=1

419. Krizhanovskaya N. Ya., Votinov M. A. Principles of humanization of architectural and urban planning infrastructure in the largest cities of Ukraine (on the example of the Kharkov city) : monograph / O. M. Beketov Kharkov nat. un-t of economy in Kharkov. – Kharkov: KNUGH, 2016. – 186 p.

420. Krizhanovska N. Ya.,Votinov M. A. Prospective tendencies of humanization of transport and pedestrian infrastructure in the city using innovative kinds of transport / Urban planning and territorial planning: Scientific-technical volume. – Kiev: KNUBA, 2018. – pp. 313-320.

421. Tatarinova V. P. The evolution of the formation of pedestrian communications in the architectural environment / The evolution of the formation of

pedestrian communications in the urban environment : Phd of architecture : 18.00.01 / Kharkov st. Academy of Municipal Economy. – Kh., 1999. – 151 p.

422. Steciuk Victor. Theoretical and practical methods of studying vibration dynamics characteristics of piezoresonance devices // On modern achievements of science and education. Proceedings of XI international conference. – Jerusalem, Israel. 29 September – 6 October 2016. – P. 100-103.

423. Підченко С. К. Віброкомпенсація нестабільності частоти кварцових генераторів в режимі багаточастотного збудження п'єзорезонатора / С. К. Підченко, А. А. Таранчук, В. І. Стецюк, Р. П. Хоптинський // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – Київ, 2014. – № 57. – С. 104-112.

424. Steciuk Victor. Digital synthesizer with temperature and vibration compensation of frequency instability / Victor Stetsiuk, Sergey Pidchenko, Alla Taranchuk // International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. TCSET’2014” – Lviv-Slavske, Ukraine, Febr. 25 - 1 March – 2014, – P. 291-292.