



---

IZDEVNIECĪBA BALTIJA PUBLISHING

**THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS  
OF THE DEVELOPMENT  
OF THE EUROPEAN RESEARCH AREA**

Monograph

Riga, Latvia

2020

UDK 001(082)  
Th310

**Title:** Theoretical and practical aspects of the development of the European Research Area

**Subtitle:** Monograph

**Scientific editor and**

**project director:** Anita Jankovska

**Authors:** Oksana Hnatyshyn, Svitlana Kryvuts, Maryna Pogrebnyak, Mykhailo Melnyichuk, Oleksandr Koval, Anna Sakhnenko, Serhii Lazorenko, Kateryna Doikova, Olena Mirza, Viktor Sokolov, Alexander Korsun, Nadia Bogatko, Vasyl Voloshchuk, Mykhailo Pidtereba, Olena Husarova, Raisa Shapar, Nataliia Sorokova, Roman Dzhala, Vasyl Dzhala, Bohdan Verbenets', Andrii Zahorulko, Oleksii Zagorulko, Oleksandr Obodovych, Vitalii Sydorenko, Andrey Polivyanchuk, Igor Gritsuk, Elena Skuridina, Volodymyr Savenko, Serhii Palchyk, Tetiana Obikhod

**Publisher:** Publishing House "Baltija Publishing", Riga, Latvia

**Available from:** <http://www.baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/33>

**Year of issue:** 2020

All rights reserved. No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical, or other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system, without permission in writing from the publisher and author.

Theoretical and practical aspects of the development of the European Research Area: monograph / edited by authors. – 4th ed. – Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2020. – 354 p.

ISBN: 978-9934-588-53-2

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2>

The monograph describes the theoretical and practical aspects of development of the European research area. The general issues of fine arts, economic and social geography, physical education of various groups of the population, preventive medicine and veterinary sanitation, agricultural sciences, computer science, computer engineering and automation, issues of physical and mathematical sciences are considered. The publication is intended for scholars, teachers, postgraduate students, and students, as well as a wide readership.

© Publishing House "Baltija Publishing", 2020  
© Authors of the articles, 2020

## Contents

### CHAPTER «HISTORY OF ART»

*Oksana Hnatyshyn, Svitlana Kryvuts*

MODELS OF REALIZATION OF THE CONCEPT  
OF «NATURALNESS» IN THE INTERIOR DESIGN  
OF HOSPITALS FOR CHILDREN. . . . . 1

*Maryna Pogrebnyak*

MODERN DANCE AND NEOCLASSIC DANCE IN THE UKRAINIAN  
BALLET OF SECOND HALF OF THE XX – BEG. XXI CENTURY:  
WAYS OF IMPLEMENTATION, FORMS OF PRESENTATION,  
METHODS OF MASTERING OF AESTHETICS. . . . . 20

### CHAPTER «GEOGRAPHICAL SCIENCES»

*Mykhailo Melnyichuk, Oleksandr Koval*

CLIMATIC FEATURES OF THE BILOOZERSKYI ARRAY  
OF THE RIVNE NATURE RESERVE. . . . . 43

### CHAPTER «PHYSICAL EDUCATION AND SPORT»

*Anna Sakhnenko, Serhii Lazorenko*

STRUCTURE AND LEVEL OF PROFESSIONAL  
AND APPLIED AWARENESS OF STUDENTS STUDYING  
ON AGRICULTURAL SPECIALITIES. . . . . 69

### CHAPTER «MEDICAL SCIENCES»

*Kateryna Doikova, Olena Mirza*

RADIATION DIAGNOSIS OF AORTOMESENERIC  
DUODENAL COMPRESSION. . . . . 92

*Viktor Sokolov, Alexander Korsun*

X-RAY TOMOGRAPHIC PICTURE OF HODGKIN'S DISEASE. . . . . 120

### CHAPTER «VETERINARY SCIENCES»

*Nadia Bogatko*

CHEMICAL COMPOSITION OF MEAT  
OF SLAUGHTERED ANIMALS FOR PROCESSING  
WASHING AND DISINFECTING MEANS. . . . . 145

## **CHAPTER «AGRICULTURAL SCIENCES»**

*Vasyl Voloshchuk, Mykhailo Pidtereba*

SEARCH OF THE OPTIMIZED DECISIONS ON A SELECTION OF PARAMETERS AND VOLUMES OF PRODUCTION OF PIG BREEDING PRODUCTS. . . . .	167
--	-----

## **CHAPTER «ENGINEERING SCIENCES»**

*Olena Husarova, Raisa Shapar, Nataliia Sorokova*

INTENSIFICATION OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING THE CONVECTIVE DRYING OF APPLE TO LOW FINAL MOISTURE. . . . .	191
--	-----

*Roman Dzhala, Vasyl Dzhala, Bohdan Verbenets'*

NONCONTACT TESTING OF UNDERGROUND PIPELINES CORROSION. . . . .	212
---	-----

*Andrii Zahorulko, Oleksii Zagorulko*

TECHNOLOGICAL AND APPARATUS IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION PROCESSES OF BLENDED FRUIT AND BERRY FUNCTIONAL PRODUCTS. . . . .	233
---	-----

*Oleksandr Obodovych, Vitalii Sydorenko*

NUMERICAL STUDY OF DYNAMICS OF MOTION OF LIQUID AND HEAT TRANSFER IN A ROTOR-PULSATION APPARATUS OF CYLINDRICAL TYPE. . . . .	249
---	-----

*Andrey Polivyanchuk, Igor Gritsuk, Elena Skuridina*

MATHEMATICAL MODELING OF DIESEL ENGINE OPERATION MODE INFLUENCE ON MASS EMISSION OF PARTICULATE MATTER WITH EXHAUST GASES USING MICROTUNNEL. . . . .	269
---	-----

*Volodymyr Savenko, Serhii Palchyk*

THE MAIN DETERMINING FACTORS AND METHODS OF FORMING AND DEVELOPING EFFECTIVE INDUSTRIAL SOCIAL ORGANIZATION. . . . .	302
--	-----

## **CHAPTER «PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES»**

*Tetiana Obikhod*

HIGH ENERGY PHYSICS IN THE CONTEXT OF D-BRANE THEORY AND SEARCHES FOR NEW PHYSICS AT THE LHC. . . . .	333
--	-----



## CHAPTER «HISTORY OF ART»

### MODELS OF REALIZATION OF THE CONCEPT OF «NATURALNESS» IN THE INTERIOR DESIGN OF HOSPITALS FOR CHILDREN

Oksana Hnatyshyn<sup>1</sup>  
Svitlana Kryvuts<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-44>

**Abstract.** The article analyzes the basic models of realization of the concept of «naturalness» in the organization of interior design of hospitals for children. The interior design of hospitals has recently been aimed at rethinking the problem of scarcity of natural components and finding new ways of implementing them. It is because of the need for emotional relaxation in the natural environment of children undergoing treatment that designers are increasingly trying to come up with interesting ideas. Today, the interest of practicing designers in solving the above problem has increased significantly, as evidenced by the visual material of the study. However, it should be noted that theoretical developments in this area are almost absent. Works that reveal the nature of the embodiment of natural components or their artificial imitation in the design of children's hospitals are more descriptive. Thus, the need to analyze the formation of interior design of medical institutions on the basis of the concept of «naturalness» becomes relevant and requires the definition of its models, functions, systematization of the principles and methods of realization of the author's intention in the system of combining the child and nature through the introduction of elements of artificial and living nature. In elaborating the topic of the study, the author created generalizing tables in order to

---

<sup>1</sup> PhD Student of the Department of Design Environment, Kharkiv State Academy of Design and Arts, Ukraine

<sup>2</sup> PhD (Design), Associate Professor of the Department of Design Environment, Kharkiv State Academy of Design and Arts, Ukraine

systematize the functions, principles and techniques that characterize the content of artistic ideas of the author.

### 1. Introduction

Recent project designs by architects and designers indicate that in the context of globalization, the role of the environmental factor, as one of the main ones, is growing. Ecological aesthetics shapes a child's positive attitude to the artistic image of objects of design, directly influences to his psycho-emotional state and helps nurture a positive attitude to the environment through a complex of graphic, plastic or interactive components.

Among the scientists who raised environmental issues in the design of the object-space environment should be mentioned the following: O. Boychuk [2, p. 28], S. Kryvuts [1, p. 72], V. Bondarenko [1, p. 72], V. Kurochkin [4], V. Prusak [6, p. 88]. Author of the article «Ecological theme in urban art design», V. Kurochkin, revealing the need for environmental factor, states that natural images of art objects, their genre environmental orientation, integration into the existing architectural structure allow to visually transform the space, help to reduce negative influence environment and increase the creativity of the individual, create a comfortable atmosphere [4]. Essential aspects of eco-design are meaningfully provided by Pankin's research «Ecologization modern design» [5, p. 380]. The author reveals a number of factors that are basic in the contemporary design of objects, including: natural decoration materials; elements of shaping that allow you to create the most comfortable visual environment, as well as technical innovations that extend the potential of design solutions that are inherent in nature. An ecological approach in the design of innovative building and decoration materials, whose characteristics further affect the condition of the design objects, is analyzed in the article of S. Kryvuts, V. Bondarenko [1, p. 72].

Thus, the multifaceted perception of the interior space of children's health care facilities is manifested through the organization of a design idea, which is due to the introduction of artistic and modern technological techniques and materials. The variational nature of the above techniques in shaping the modern design of hospitals for children allows to determine the relevance of the concept of «naturalness». Systematization of the main aspects of this problem reveals the fundamental novelty of the design approach in terms of organizing the visual image of a harmonious and comfortable

environment of children's hospitals. The methodology of the research is to apply the method of analysis of scientific sources, which was carried out in order to study the state of the problem under study and determine its relevance; an empirical method of research that allowed purposefully and systematically to collect information, make a primary generalization, systematize and classify conceptual models of decision making for the design of children's health care institutions; an important role was played by the phenomenological method, which allowed to determine the predicted impact of the chosen composite decision on the viewer.

### **2. A paradigm shift in the design of hospitals for children**

The social relevance and relevance of the chosen topic of the study is to analyze and identify fundamentally new design models for the implementation of a new paradigm based on the concept of «naturalness». The design of health facilities for children in economically developed countries, such as the USA, Spain, Portugal, China, points to changes in the approaches to their design processes. Characteristic features of the solution of their design are the use of technological innovations, the availability of space-planning, design and artistic-shaped solutions. It should be noted, as evidenced by the visual material of the study, in recent years the demand for the introduction of elements related to nature has increased significantly in the design of medical facilities. Focusing the kids on bright graphic images or art objects that resemble natural ones changes the psychology of the health institution's perception, reduces stress, discomfort. In addition, at the present stage of the design of hospitals for children, discovering the concept of «naturalness» contributes to the emergence of a sense of belonging to the natural world. Thus, it can be argued that the emergence of a new concept – the concept of «naturalness» – is a manifestation of modern understanding in the need to change the modeling of the object-space environment of medical institutions for children. It should be noted that the main six models of the concept of «naturalness» are a fundamentally new means of its implementation and open the possibility of artistic expression of medical institutions on the basis of two directions: natural (two models) and artificial (three models).

The natural direction is based on the search for the effective use of natural components in hospital design, where the author's concept is revealed through the introduction of two models:

- the use of natural elements and forms of landscaping that enhance the aesthetic characteristics of the overall composition of hospital premises;
- the use of a transitional model in interior design, where the effect of filling with natural components is achieved by the abundance of glazing. In this case, the principle of the flowing of elements of wildlife into the interior space is created by creating the illusion of the presence of natural forms associated with the visual perception of children of their composite elements.

The artificial direction of the concept of «naturalness» is decided by specialists on the basis of three models, where the compositional accents and artistic and figurative characteristics of artificial natural elements of form formation are revealed by specialists due to their stylization, variety of execution techniques and coherence with other subject-space filling of the interiors of the hospital:

- based on the interpretation of artificial art objects as natural forms;
- based on the creation of murals or decorative panels in abstract and symbolic language by various artistic and technological means;
- by means of digital art.

It should be noted that the innovative modern possibilities of technological execution and expressiveness of artistic-figurative techniques allow to determine the perfection and variety of topics in the disclosure of the concept of «naturalness». Among the many concepts that convey the content of the concept, architects and designers use precisely those that allow the child to plunge into the magical world of the transformative reality of the interior space of the medical facility. The main topics that change the child's perception of the medical atmosphere should be the following: 1) travel from earth to heaven; 2) travel in the forest; 3) sea voyages.

### **3. The main factors of natural direction models**

Designing an ecological space based on *the model of introduction of natural elements of landscaping* today is one of the effective tasks of solving the problem of improving the visual and emotional state of the treatment and rehabilitation of a sick child. Considering the importance of an ecological function that purposefully helps to create favorable microclimatic conditions for the treatment of children through the use of natural landscaping, it is necessary to analyze the principles of their construction on the examples of foreign experience.

## Chapter «History of Art»

---

Design of Asuncion Trauma Rehabilitation Center near Lambare (Paraguay), is designed by the local Gabinete de Arquitectura Studio. The complex is built on the principle of expediency and reveals the content of the main idea through the design-organization of stone buildings in the lush green garden for recreation and games for children. Due to the introduction of the recycling method, the formation of interior and exterior spaces was made using only natural recycled materials: bricks, ceramic tiles, wooden sheds, etc. The function of introducing environmental sustainability is solved by the project sponsors as a demonstration of reforming a new outlook on environmental issues. Conservation of living elements of nature becomes the key in determining the compositional accents of building the space of the rehabilitation center. Big trees, green lawns are all harmoniously formed by the authors of the project and offset the signs of a healing atmosphere. This example points to the possibility of organizing a hospital space design, combining an environmental approach and the use of natural recycled materials.

The following example also confirms the interest of specialists in the design of children's hospitals, taking into account *the model of introduction of natural elements of landscaping*. Maintaining the inner peace of a sick child is the most important task of the authors of the project. The expressiveness of the design organization of the interior of the hospital is achieved by solving humanistic problems through the introduction of natural components (trees, flowers, etc.) in the rest area. The conceptual idea of the work of designers is revealed because of the clarity of the spatial organization of natural objects. *The principle of mobility*, which created the main composite model of landscaping, makes it easy to service plants, if necessary – to change the overall composition associated with the use of colors of different bright colors. When designing many models for the introduction of natural landscaping into indoor space, one should analyze the professionally designed interior of Waikato Hospital in Hamilton, New Zealand. The main concept behind the project is to create a breathtaking dynamic landscape with the means of a spatial organization. The authors of the project tried to unravel the undulations of agricultural lands and hills inherent in the Waikato area in the composition of the space. Another source of inspiration for the author was to create a place where you can meet with family, socialize and forget about stressful situations for a while.

The professionally formulated concept of the architectural and artistic solution of Waikato Hospital reveals *the content of the transitional model of the flow of natural elements into the interior space*. It should be noted that the importance of a bright color palette of artificial three-dimensional elements, which are lined with environmentally friendly material – marmoleum. The green, orange, and yellow hues of the three-dimensional body covering the entire space of the room create a positive psycho-emotional atmosphere for relaxation. Along the perimeter of the zones, developed with the help of decorative artificial elements, are dark green tall natural plants, which additionally create the effect of “centers of gravity to the natural environment”.

The second transitional model, where the effect of filling with natural components is achieved by the abundance of glazing, is presented in the project Children’s Hospital Zürich. The main characteristic of the concept of “naturalness” and the most important task of the authors of the project is the inner peace of the sick child. The expressiveness of the design organization of the interior of the hospital is achieved by solving humanistic problems through the introduction of natural components (trees, flowers, etc.) in the rest area. The conceptual idea of designers is revealed because of the clarity of spatial organization of natural objects. *The principle of mobility*, which created the main composite model of landscaping, makes it easy to service plants, if necessary – to change the overall composition associated with the use of colors of different bright colors.

#### **4. The main factors of artificial direction models**

Considering that the influence of the third model – *models of interpretation of artificial objects as natural forms* and today is very widespread, more and more often in the design of interior design architects use artificial elements that imitate natural plants by various means of design. An example is the Royal Aberdeen Children’s Hospital. An important component of the concept of “naturalness”, in this case, is the solution of the walls due to the large amount of glazing, which starts from the floor and continues to the ceiling. Thus, nature almost “enters” the premises of the hospital. The compositional dominant in deciding the space of the hospital is the spatial, centric shape that resembles a tree. Made of wood, it is a generalized stylized symbol of the “concept of naturalness” in deciding the interior of a hospital.

All functional areas of the room are unfolded near the symbolic tree. Emotionally saturated space is built with bright colors that reflect the external characteristics of natural elements (yellow, green, blue). The function of ecology is solved by the authors of the project through the use of Sarlon flooring, Forbo Flooring Systems, which has high acoustic and hygienic qualities. Minimizing the noise pollution of Sarlon eco-friendly material can help you avoid sleeping disorders, headaches, stresses, etc. when used in the design of healthcare facilities.

It should be noted that in the context of defining the concept of “naturalness” on the basis of the third model, the means and types of its construction are quite diverse. Among the main *types* of popular are the following: 1) imitation of the natural landscape abstract and symbolic language artificial means of design; 2) creating an imitative image of natural forms by artificial means of design. Analysis of the visual material showed that *the imitation of the natural landscape with abstract symbolic language by artificial means* of design is quite expressive in the design organization of interiors of children’s hospitals and is based on the principle of *comparison*. An example of the artistic expressiveness of a medical facility is a rehabilitation center for children in Manitoba, Canada. In deciding the artistic and figurative component of the concept of “naturalness”, the project author uses associative-symbolic language in deciding the stylization of the floor and decorative objects above the ceiling. The main compositional emphasis that visually emphasizes the importance of natural elements in the design of the room is the juxtaposition of living trees and trees made of colored plywood. Of course, the interior has a positive effect on the child being treated here. It should also be noted that the overall composition of the interior space performs a cognitive-educational function. The interior design of the hospital is characterized by a variety of natural-looking broadcasts in the main aspects: the vibrant colors of the natural environment, the unobtrusive stylized decorative elements of natural shapes, the furniture and equipment that resemble animals or stones. Thus, the creative design of the rehab center helps the child consistently obtain new information, created by the magical world of artistic culture.

A striking example of *creating an imitative image of natural forms by artificial means of design* is the design of the Randall Children’s Hospital, designed by ZGF Architects, 2012 (Portland, Oregon 97227, USA).

To this date, constant information oversaturation negates or complicates the perception of important information. However, the architects of ZGF Architects Studio have been able to overcome this phenomenon by offering thematic images of the natural world on each floor that have specific characteristics specific to specific regions of Oregon and Washington, USA. Each proposed by the architects animal is made in different materials and appears in the most unexpected places for the child. The importance of this concept for the child is that it forms the necessary value system through a combination of creative and educational tasks.

The fourth model of disclosure of the concept of “naturalness”, as shown by the analysis of visual material, occurs through the detection of story content is *based on the creation of murals or decorative panels in abstract and symbolic language*. The effect of expressiveness, in this case, is formed through the use of various artistic and technological techniques and materials, namely: 1) graphic techniques; 2) tactile in combination with graphic; 3) volume plastic. Each designer creates the space of the hospital for children in accordance with his professional handwriting, emphasizing the uniqueness and individuality of the concept of “naturalness”. In addition, choosing one technique to perform or combining different techniques, choosing a scale that reflects the master, all have a positive effect on the perception of the space of the healthcare facility. Innovative techniques in the design of the hospital space and the use of modern technologies in the processing of materials lead to the fact that

Let us analyze the expressive examples of contemporary project practice in the formation of children’s hospitals on the example of the Royal Children’s Hospital in Melbourne, Australia (Figure 1). The main purpose of the conceptual design of the designer was to create space on the basis of the scenario approach, that is – from travel in natural conditions. Walking along the colorful images on the walls, it seems that the master himself was filled with positive emotions from what he saw. The compositional integrity of the dynamic panels is achieved by the harmonious blend of bright spots and the expressiveness of a thin linear pattern that pervades the spots with the image of natural elements. The combination of these execution techniques allows you to design a complete monumental and decorative work on the perimeter of the entire wall of the hospital based on *the principle of harmony*. For a quick understanding of key functional areas



## Chapter «History of Art»

---

of the Royal Children’s Hospital, designers choose travel topics as a way of reference in the space of a healthcare facility. Each floor forms its own interpretation of the design concept of “naturalness” through the following changes in visual-graphic language: 1) each floor has its own composition, which is solved by a color scheme, which is not repeated on the other floor; 2) the clarity of the linear pattern is transformed into a large number of background color spots, the expressiveness of which is complemented by the drawing; 3) the compositional content of the panel is solved using 3-4 colors.



**Figure 1. Royal Children’s Hospital in Melbourne, Australia**

When small patients move from floor to floor, the subject matter of forest adventures on earth changes to natural adventures in the sky or in the ocean. Accordingly, changes occur in the color scheme and graphic stylization of the drawing. This project won the 2012 IIDA (IIDA) Global Excellence Awards.

Another theme of the concept of “naturalness” – adventure in the forest, it is quite common in the design of children’s health facilities. By creating a hospital-themed design, the craftsmen transform the interior space into a solid forest with many animals trying to communicate with a sick child (Figure 2). The main purpose of creating a morality design at a London hospital is to provide a visually appealing atmosphere where toddlers can instantly forget about health issues by consistently studying animals as they move further along the hospital corridor. To create the desired impression of compositions, designers use a *simple graphical technique* of overlapping one image to another. This example demonstrates the *reception of increased contrast* in color-tone relationships and the *reception of simplification of visual motives*. The silhouette of the decorative panels, the schematization of the images of animals and plants, the openness of color – all contribute



**Figure 2. University Children's Hospital (London, UK), Arch. EMMI Studio**



**Figure 3. Emma Children's Hospital in Amsterdam, the Netherlands**

to the tension and understanding that in this interior – color is an expression of a conceptual idea.

As shown by the material of the study, *the reception of approximate color-tone relationships* is common no less than contrasting colors and fits the aesthetic function of building design of health facilities for children (Figure 3.). The Emma Children's Hospital in Amsterdam demonstrates the variability of the character of modern interior design. The main idea, which was successfully executed by the designers, was aimed at creating an unobtrusive positive psycho-emotional atmosphere that is least reminiscent of the healing. The above confirms the regulatory function of the hospital design, which has the character of neutralizing psychologically difficult emotions. This effect is achieved by the very chosen designer reception of decorative panels along the entire space of the hospital, the main concept of which is the concept of "naturalness". Converging color-tone relationships of the developed graphic compositions have a calming effect on the visitors, symbolically synthesize the image of natural elements, and to some extent create the illusion of complete distraction from difficult thoughts related to treatment.

## Chapter «History of Art»

---

The natural process of knowing the child of the natural world today is due to the active *use of photos* in the design of medical institutions. Modern printing services are an affordable means of obtaining the desired result in creating the necessary artistic image. The analysis of visual material showed that the modern objects of children's hospitals reveal the meaning of the concept of "naturalness" by means of photographs using the following artistic techniques: 1) contrast of color-tone relationships; 2) receiving a larger scale; 3) equilibrium of image elements (Figure 4).



**Figure 4. Phoenix Children's Hospital / HKS Architects**

Nowadays, when printing technologies have reached the high quality of color images, a means of using them to improve the psycho-emotional atmosphere of children's health care institutions is becoming popular. Providing high quality transmission of color-tone relationships led to the decision of decorative panels based on the reception of a larger image. This technique is fundamental in creating a compositional dominance in the design of children's hospitals. Considering that the natural world is very rich in expressive forms, elements and details, it is important to note that the use of large-scale photographic images is an important component of interior space design, has a cognitive-educational function and has a positive effect on the perception of images by visitors of all ages. Through the play of rich colors, the multiplicity of demonstrations of textures and textures of the natural world, the child's attention is completely subordinated to the perception of the information provided by the master. The proposed photo compositions in the design of hospitals for children have a local nature of their location and are a kind of landmark. This approach of the authors shows a positive example of broadcasting *information and communication functions* in hospital design.

One of the priority *graphic techniques* in the photo industry today is to call *integration*. The example of children's hospital formation of Seattle-Childrens-Hospital-South-Clinic-Earth-hallway (author Zaara Kitten-Chops) confirms the abovementioned (Figure 5). To create a decorative panel on natural themes, the designer uses transparent and white film, which is pre-painted with realistic images of the natural world. To reveal the depth of the composition space, the author integrates brighter realistic images into the background images. The figurative expressiveness of the decorative panel is achieved with the help of collage technique. However, it should be noted that the technique of collage on different floors and different functional areas is different from each other, namely:

- when using a background film, which, thanks to the possibilities of printing, draws *on the basis of the artistic reception of the approximate color-tone scale*, the designer enhances the juxtaposition between the background and the main image, integrating realistic images of the stones, leaves and clouds with a zoomed in relation to the child;

- color film shows realistic images of animals, leaves, flowers, mushrooms and more. The effect of expressiveness is achieved by constructing the composition *on the basis of a larger scale in the collage technique*, without drawing the images on the background film and its subsequent use. The fact that the elements of the composition are arranged in a chamber along the wall, they look more contrasting (without the background film), which increases the interest of children in the processes of knowledge of the natural world. *Reception of creation of literal texture* of natural elements through the demonstration of their realistic branches, petals, texture of stone. All this creates harmony in the conditions of design organization of object-space environment of children's hospital. Thus, the author of the images (Zaara Kitten-Chops) reveals the concept of “naturalness” through the activation of the cognitive-educational function.

Interpenetration of architectural and design techniques with specific modern techniques of graphic design means the development of a new *trend*. Creating a decorative panel with graphic design tools, the masters comprehensively solve the problems of environment design, based on *the principle of transformation* and contribute to the formation of a positive emotional state of visitors. Possibilities of modern printing technologies, expressiveness of panel techniques, comparison of background abstract



**Figure 5. Seattle-Childrens-Hospital-South-Clinic-Earth-hallwa**

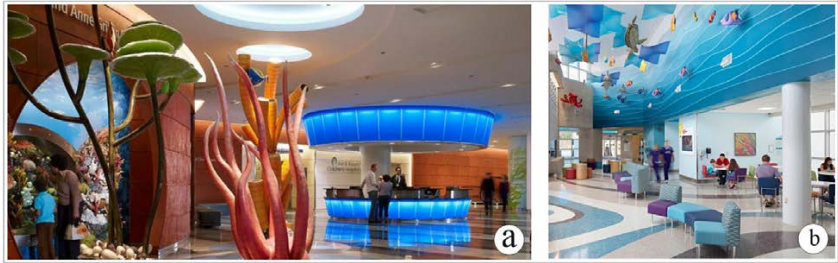
symbolic images with realistic – all the above components prove that in the design of children’s hospitals at the beginning of the XXI century a new trend was developed, which in the complex of all signs is responsible for the harmony and comfort of the medical space – reception of *receiving a combination of tactile elements with graphics*. For example, the design authors of Royal London Hospital laconic on the basis of the above admission reveal the meaning of the concept of “natural” (Figure 6).



**Figure 6. Royal London Hospital**

The rhythmic sequence of the natural surroundings of the images on the walls is made in green with no unnecessary details and lines. Nothing distracts from the overall composition’s perception of the whole: almost even proportions of natural hills do not violate the overall impression of the composition. Large colored spots of hills are offered at the level of perception by both adults and small visitors. Compositional dominant features are stylized elements of plywood. Woodworks author Miller Goodman creates laconic decorative inserts to help reveal the main idea without overloading the space with unnecessary decor elements. This technique speaks to the professionalism of a designer who does not try to overload the unnecessary elements of the perception of decorative panels in the hospital room.

The introduction of the theme of «sea adventures» in the implementation of the concept of «naturalness» occupies no less important place in the work of modern designers. Consider the basic techniques for creating interiors for children: 1) imitation of the marine landscape in an abstract symbolic language by artificial means of design; 2) design art objects using natural elements: stones, seashells, corals, crabs and more; design art objects using artificial design tools. The informativeness and richness of marine natural resources often gets the attention of designers. A clear example of this is the design of a children’s hospital Ann & Robert H. Lurie Children’s Hospital (Figure 7a).



**Figure 7. a) Ann & Robert H. Lurie Children’s Hospital;  
b) Children’s Hospital Therman Statom, Norfolk, Virginia**

In this environment, the function of environmental sustainability is achieved through the use of forms of marine plants made of artificial materials *on the basis of large-scale reception* with the addition of natural marine animals as a compositional emphasis. A large number of seashells fill the structure that mimics the “sea reef”. All elements of the composition look very natural and attractive. In fact, it seems like a complete dive into the depths of the sea. Emphasizes the effect of immersion of a developed porthole with live marine fish, in which you can contemplate the life of sea creatures. The main idea of creating expressive space also reflects a regulatory function, since long periods of hospitalization can accumulate psychologically difficult emotions. By revealing the content of the concept of “naturalness” the authors of the project by the following means:

– *technological*: availability of panoramic glazing (this technology is a modern trend in the design of public buildings; creates an opportuni-



ty to dramatically change the perception of interior and exterior space; improves the quality of interior lighting; contributes to reducing energy costs;

– *artistic and imaginative*: the visual organization of the interiors is due to the introduction of large, laconic colored patches of blue tint on the walls and floor. Smooth lines of the drawing contour move along the wall, resulting in a calming effect. In the absence of unnecessary decorative elements, the design of the medical facility looks attractive and creates an atmosphere of relaxation. Convincing in creating a common design concept combines the view of a seascape behind panoramic windows with a rather restrained decision of hospital premises based on light blue ratios. Around you can feel the “breath of the sea breeze”.

Another example is an organic combination of functional and aesthetic environments. The design of the Therman Statom Hospital, Norfolk (VA) is solved by expressing the plasticity of decorative elements made of plexiglas blue shades on the ceiling and graphic elements on the floor (Figure 7b). The decorative elements attached to the ceiling have a rectangular shape with a slight wavy slope. Wavy forms create the effect of movement of decorative elements. Splashes of bright compositional accents in the form of large, stylized marine fishes, turtles, etc. throughout the ceiling give the impression that there is some wonderful effect in the depths of the ocean. It should be noted that the artistic image of the inner space of the children’s hospital is formed almost only at the expense of the ceiling. An additional feature is the wavy elements on the floor, which visually delimit the space in accordance with the functional areas. The emotional impression of the proposal of the authors of the project creates a positive unobtrusive atmosphere in the hospital.

Fifth model of artificial direction of the concept of «naturalness» reflects the innovation in approaches to environmental design. Contemporary digital art has a huge influence on the concept of «naturalness» in the design of hospitals for children. Up-to-date design thinking covers the following technological tools: 1) interactive; 2) touch; 3) using LED technology. Through the expansion of the child’s worldview this function contributes to the acquisition of knowledge about nature, man and so on. An example of the above is the clinic in Toronto (Just for Kids for

St. Joseph's Health Center). Thanks to the GestureFX Health GestureFX spreadsheet program, children have the opportunity to receive interactive video projections, which are aimed at a unique form of learning through the projection of gestures and movements based on the immersive method. It should be noted that the actual use of interactive technologies based on this method in shaping the design of children's hospitals is the basis for the education of moral, personal and aesthetic qualities of the child during its treatment. The importance of the concept of the design team was awarded for the effective use of immersive projections in creating an innovative space of St. Joseph's Health Center. The design of the hospital is designed to create a relaxing environment that can reduce stress when treating children. If we consider interactivity as a means of expressing the communicative function, it should be noted that it helps the development of a new type of aesthetic consciousness. The themes of various creative digital ideas are formed in accordance with the creation of a socially adapted atmosphere of the medical institution, namely – through the introduction of the concept of "naturalness": marine subjects and through the effect of flow of the external natural world into the internal on the basis of immersive method.

The study of the solution of multifunctionality of the object can be traced on the example of Lurie Children Hospital (Chicago), the design of which fully corresponds to the main concept of today – the concept of "naturalness". In this case, the formation of the design of the interactive environment is built thanks to flexible fencing structures with light effects, which are a composite accent of a large area of the internal space of the hospital. The combination of artificial interactive forms and elements of wildlife allows to solve the following questions in formation of hospital design:

- zoning of hospital space;
- humidity control;
- creation of favorable microclimatic conditions in the interior by means of light effects;
- sampling of music recordings that are responsible for the psycho-emotional atmosphere of visitors.

The result of the innovation is the positive state of the children being treated and the opportunity to gain an unusual experience *based*



*on cognitive-educational function.* New technologies allow the storyline to be revealed with bold, non-standard 3D tools and, most importantly, to reduce stress. Feeling in the virtual world, the child changes the perception of the outside world and perceives emotionally and physically offered fleeting artistic images of the deep-spatial composition (Figure 8).



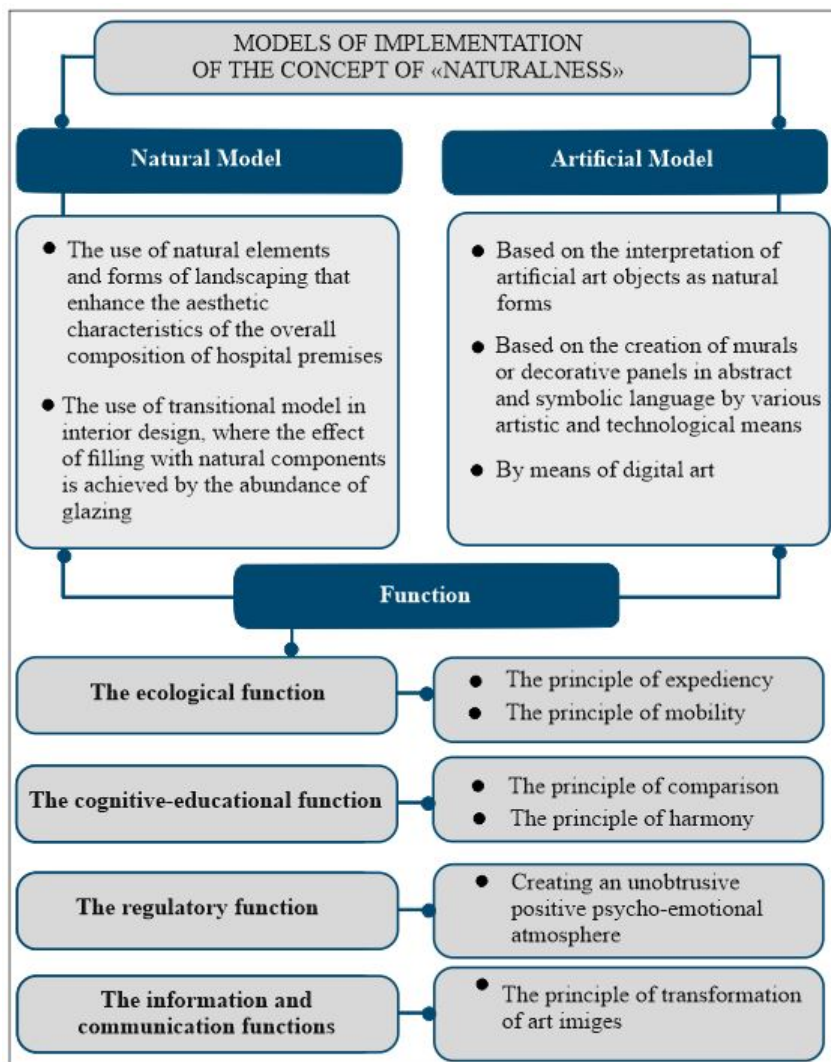
**Figure 8. Interactive Media Wall at Boston Children's Hospital**

### 5. Conclusions

1. The scientific novelty of the research material is that: 1) the significance of the concept of «naturalness» in shaping the design of hospitals for children is theoretically substantiated; 2) five main models of this concept have been identified, developing in two directions: natural and artificial; 3) analyzes the functions, principles and techniques (artistic and technological) by which the leading masters solve the problem of artistic and aesthetic image of objects (Figure 9).

2. The results of the study indicate that the performance of leading masters of creative work in the space of children's hospitals, through the use of these topics, has a therapeutic soothing effect. In addition, the important principles and techniques of visualization of the concept of «naturalness», which are of great importance for visitors of different ages, take into account: improving the microclimatic features of the premises; change of visual perception of medical space; aesthetic characteristics of the completed overall composition of the establishment, accessibility of perception of the navigation system.

3. Systematization of the best samples of design solutions which confirm the formation of the concept of «naturalness» in the design of hospitals for children, helps to master the techniques of enrichment of design solutions and their reflection in the future in students art practice.



**Figure 9. Models of implementation  
of the concept of «naturalness»**

### References:

1. Bondarenko, V. V., & Kryvuts, S. V. (2018). Pytannya ekologiji v systemi miskogo seredovusha [Ecology issues in the urban environment]. *ADVANCES OF SCIENCE: proceedings of articles the international scientific conference*, p. 72–73. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv: MCNIP. (in Ukrainian)
2. Boychuk, O. V. (1996). Osnovni napryamy rozvytku ecoduzaynu [The main directions of ecodesign development]. *Stanovlennja, rozvytok I suchasni problemu vyshoju hudozhnjoji ta promyslovoji osvity v Ukraini: material Vseukrajinskoji naukovo-metoduchnoji konferentsiji*, pp. 28–29. Harkiv: Vudavnutstvo HHPI. (in Ukrainian)
3. Kondratjeva, K. A. (2000). Dizajn i ekologija kultury [Design and ecology of culture]. Moskva: Izdatelstvo MGHPU im. G.S. Stroganova. (in Russian)
4. Kurochkin, V. A. (2013). Ekologicheskaja tematika v gorodskom art-dizajne [Ecological themes in urban art design]. *Arhitecton: izvestija vuzov*, № 42, ijun. Retrieved from: [http://archvuz.ru/2013\\_2/16](http://archvuz.ru/2013_2/16) (in Russian)
5. Pankina, M. V. (2013). Ecologization modern design. *Science, Technology and Higher Education: materials of the II international research and practice conference*. Vol. II, pp. 379–383. April 17<sup>th</sup>, 2013: publishing office Accent Graphics communications, Westwood, Canada.
6. Prusak, V. F. (2011). Osoblyvosti ekologichnogo svitogljadu majbutyogo duzajnera v sustemi nepreruvnoji osvitu [Features of the ecological worldview of the future designer in the system of continuing education]. *Naukovi zapusku Ternopil'skogo natsionalnogo pedagogichnogo universytety im. Volodumura Gnatjuka*, № 2, pp. 86–90. Ser.: Pedagogika. Ternopil. (in Ukrainian)

**MODERN DANCE AND NEOCLASSIC DANCE  
IN THE UKRAINIAN BALLET OF SECOND HALF  
OF THE XX – BEG. XXI CENTURY: WAYS OF  
IMPLEMENTATION, FORMS OF PRESENTATION,  
METHODS OF MASTERING OF AESTHETICS**

**ТАНЕЦЬ «МОДЕРН» ТА НЕОКЛАСИЧНИЙ ТАНЕЦЬ  
В УКРАЇНСЬКОМУ БАЛЕТІ ДРУГОЇ ПОЛОВИНИ XX СТ.:  
ШЛЯХИ ВПРОВАДЖЕННЯ, ФОРМИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ,  
СПОСОБИ ЗАСВОЄННЯ І ОПАНУВАННЯ ЕСТЕТИКИ**

**Maryna Pogrebnyak<sup>1</sup>**

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-45>

**Abstract.** The article deals with the manifestations of modern dance and neoclassical dance in the Ukrainian ballet of the second half of the XX – beginning of the XXI centuries. The purpose of the study is to identify the ballet masters and choreographers – representatives of modern dance and neoclassical dance in the Ukrainian ballet of the second half of the XX – beginning of the XXI centuries, ways of implementation of these directions of theatrical dance, forms of its presentation, methods of mastering of aesthetics on the Ukrainian stage of the specified period. The methodology of the research is based on the using of analytical method for the analysis of creative achievements of Ukrainian ballet masters of the second half of the XX – the beginning of the XXI centuries and the identification of representatives of new trends in theatrical dance (modern dance and neoclassical dance); cultural and art studies – to identify ways of implementation modern dance and neoclassical dance, forms of its presentation, methods of mastering of aesthetics on the Ukrainian stage of the specified period; historical – to set the timeline of events. The scientific novelty of this exploration is to study the history and analysis of the so-called

---

<sup>1</sup> Candidate of Art Criticism, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Theory and Methods of Teaching Arts,  
Berdyansk State Pedagogical University, Ukraine;  
Doctoral Student at the Rylsky Institute of Art Studies,  
Folklore and Ethnology National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

## Chapter «History of Art»

---

cross-cultural diffusions in the fields of new directions of theatrical dance (modern dance and neoclassical dance), their results, which will enrich the experience of the traditions of the national ballet theatre, as well as the practice of new style directions of theatrical dance for the purpose of social modernization of modern Ukrainian society.

Conclusions of the study: 1. The Ukrainian balletmasters – representatives of new directions of theatrical dance (modern dance and neoclassical dance) of the second half of the XX – the beginning XXI centuries and their creative achievements in this field were investigated: G. Mayorov, P. Virsky, A. Shekera, M. Arnaudova, G. Kovtun, A. Bedychev, A. Rubina, O. Nikolaev, A. Rekhviashvili.

2. The methods of mastering the aesthetics of modern dance by the Ukrainian choreographers of the second half of the XX – the beginning of the XXI centuries are revealed: a) tours of foreign ballet companies: S. Lifar, M. Bejar, P. Taylor, P. Shmook, Swedish Royal Opera, Polish Bolshoi Theatre, dance theatres of A. Ailey, R. Manu, J. Roussillo in the second half of the XX century in the territory of the USSR; b) to get acquainted with the work of foreign representatives of new directions of theatrical dance during the participation of Ukrainian choreographers in the international festivals and seminars of the 80's XX – beg. XXI cent. («American Dance Festival», «International Dance Week» in Prague, «Dance of the 21st Century» in Kyiv, ect.); c) production of ballets by the author's choreography and choreography of famous ballet masters (M. Fokin, Kh. Lymon) – representatives of new directions of theatrical dance on the Ukrainian stages by foreign ballet masters (M. Liyepa, M. Boyarchykov, M. Boyarsky, Kh. Myuller, A. Merkuryev).

3. The ways of implementation modern style in choreography and neoclassical dance in Ukrainian ballet of the XX – the beginning of the XXI centuries are revealed: a) quotation or repetition of the author's choreography of famous ballet masters («Dances for Isadora» by Kh. Lemon; «Vision of the Rose» by M. Fokin, «Carmen Suite» by A. Alonso) – representatives of new directions of theatrical dance; b) creation by the Ukrainian ballet masters of the author's versions of famous works of the world contemporary ballet («Parsley», «Holy Spring» – A. Rubina, A. Bedychev, G. Kovtun; «Firebird» to music by I. Stravinsky – A. Asaturyan; «Romeo and Juliet» to music by S. Prokofiev – G. Kovtun;

«Bolero» A.Rekhviashvili); c) creation by the Ukrainian ballet masters of the original copyrighted works by means of modern dance and neoclassical dance; in particular, through the dialogue of different styles in the middle of one work.

4. The forms of presentation of modern dance and neoclassical dance on the Ukrainian theatre scene are investigated: choreographic evenings; ballet performances; opera-ballet; pantomime ballet; the so-called «plastic version of the drama» (rhythmoplastic construction of mass scenes; plastic leitmotifs – character characteristics).

Practical meaning. The results obtained will be of importance for further theoretical understanding of the tendencies in the development of contemporary scenic choreographic art in Ukraine; they will form the basis of art – generalizations on the theory and history of contemporary choreographic art. Materials can be used to develop manuals and textbooks; in teaching courses in the history of choreographic art, the art of ballet master, directing the dance theatre, provided by educational and professional programs for training specialists in choreography in higher education.

## 1. Вступ

Сучасний етап розвитку балетного театру України характеризується активізацією пошуків способів засвоєння естетики і застосування практики нових стильових напрямків театрального танцю з метою модернізації сучасного українського балетного театру. Тому результати вивчення історії, так званих, кроскультурних дифузій в галузі нових напрямків театрального танцю дозволять посилити художній потенціал національного балетного театру. *Актуальність* дослідження посилюється також відсутністю теоретичних надбань у галузі композиції нових напрямків театрального танцю. У зв'язку з цим, враховуючи підвищений інтерес українських артистів балету, балетмейстерів, викладачів до явища сучасного танцтеатру взагалі та нових напрямків театрального танцю ХХ – ХХІ ст. зокрема, виникає необхідність теоретичної підтримки мистецького та навчального процесів.

*Аналіз досліджень.* Питання використання нових форм театрального танцю, танцю «модерн» і неокласичного танцю зокрема в українському балеті залишаються поза межами наукових розвідок нечисельних дослідників у галузі теорії і історії сучасного театрального танцю і сучасного балету радянського і пострадянського простору (П. Білаш,

О. Верховенко, О. Плахотнюк, М. Погребняк, О. Чепалов, Д. Шариков та ін.), що зумовлює *актуальність* обраної теми.

Одночасно поверхнево торкаються цих питань окремі дослідники українського балетного театру. Так, проблем пошуку в українському балетному театрі ХХ ст. нової хореографічної мови, яка поєднує модифікований на національній основі класичний танець із сучасними формами торкаються у своїх дослідженнях науковці: Ю. О. Станішевський, В. І. Пасютінська, М. П. Загайкевич [7; 15; 23]. М. Загайкевич стверджує, що поява в українському мистецтві творів узагальнено символічного змісту «наклала відбиток на характер хореографічного втілення, відміченого сучасною лексикою і вільним пластичним малюнком» [7, с. 42].

У дисертації Т. Павлюк [14] окрему увагу приділено питанню активного «опанування досвіду сучасних різновидів танцю модерн, оновлення підходів до академічних версій класичного балету» [14, с. 11] у другій половині 80-х – початку 90-х рр. ХХ ст. Дослідниця Є. В. Яніна-Ледовська виявляє нові сценографічні рішення в сучасних версіях «Весни священної» та специфіку її хореографічних трактувань українськими балетмейстерами (А. Рубіна, Г. Ковтун, Р. Поклітару) [32]. Є. В. Яніна-Ледовська зазначає, що ці балетмейстери «використали у рішенні головних тем балету: ...елементи маскультури й естрадного шоу...; лексику класичного танцю...; засоби «кінематографічного» мислення у поєднанні елементів народного, класичного та спортивного танців з елементами акробатики» [32, с. 18]. Н. Семенова у підрозділі 2.3 своєї наукової праці згадує про неокласичні тенденції в експериментальних балетних постановках українських балетмейстерів кінця ХХ – поч. ХХІ ст. [19]. Л. Л. Козинко у третьому розділі дисертаційного дослідження на прикладі постановок окремих сучасних балетмейстерів виявляє введення «елементів фольклорного і народно-сценічного танцю до тексту вистави та поєднання їх із рухами класичного танцю і танцю модерн» [10, с. 13]. *Метою* дослідження є виявлення балетмейстерів і хореографів – представників танцю «модерн» і неокласичного танцю в українському балеті другої половини ХХ – поч. ХХІ ст., шляхів впровадження цих напрямків театрального танцю, форм їхньої презентації, способів засвоєння і опанування естетики на українській сцені зазначеного періоду. *Методологія дослідження*

ґрунтується на використанні аналітичного методу для аналізу творчого доробку українських балетмейстерів другої половини ХХ – поч. ХХІ ст. та виявленні представників нових напрямків театрального танцю (танцю «модерн» і неокласичного танцю); культурологічного і мистецтвознавчого – для виявлення шляхів впровадження танцю «модерн» і неокласичного танцю, форм їхньої презентації, способів засвоєння і опанування естетики на українській сцені зазначеного періоду; історичного – для встановлення хронології подій. *Наукова новизна* цієї розвідки полягає у вивченні історії і аналізу, так званих, кроскультурних дифузій в галузі нових напрямків театрального танцю (танцю «модерн» і неокласичного танцю), їхніх результатів, що дозволять посилити художній потенціал національного балетного театру, а також сприяти якісному застосуванню нових стильових напрямків театрального танцю з метою соціокультурної модернізації сучасного українського суспільства.

## 2. Зміст понять «танець "модерн"» та «неокласичний танець»

Авторкою даної наукової розвідки у науковій праці «Танець модерн ХХ ст.: витоки, стильова типологія, панорама історичної ходи, еволюція» визначено зміст поняття танцю «модерн» як особливої естетико-філософської та художньо-естетичної практики, що здійснюється у відповідності до визначеної нами сукупності «філософсько-світоглядного», естетичних і технічних принципів, а саме: «*Філософсько-світоглядний*» принцип є основним формотворчим чинником танцю «модерн» і полягає у прагненні безпосереднього пізнання «суті речей», явищ, особистостей, відкриття їхнього «лику» засобами безумовного руху у відповідності до філософсько-світоглядних переконань митця. *Естетичні принципи*: відмова від умовностей історичних та побутових, повна свобода форм. *Технічні принципи*: колапс, ізоляція, поліритмія, поліцентрія, імпульс, релаксація, напруження.

Невідповідність хореографічного твору одному з цих пунктів робить неможливим віднесення його до стилю «модерн».

*Індивідуальну практику* такого роду запропоновано називати *індивідуальним стилем*. Зв'язок філософії з танцем «модерн» полягає у тому, що це мистецтво може існувати лише за умови глибокої віри у істинність філософського припущення про існування так званої «суті



речей», яке (припущення) є характерним для більшості ідеалістичних філософських вчень. Тому, авторка доходить висновку, що, з одного боку, всі різновиди танцю «модерн» є однорідними з точки зору застосування ними естетичних та технічних принципів, а також з боку наявності потужного філософсько-світоглядного підґрунтя. Але, одночасно, вони демонструють безмежну *різноманітність форм* («вільний», «виразний», «аедопластика», «танці машин», стилізований народний, «contemporary dance», «модерн-джаз танець», анкоку-буто та ін.) зумовлену різноманітністю світоглядних систем, що практикується їхніми представниками [17, с. 54–55].

Також авторкою визначено поняття «неокласичний танець», що означає новий стильовий напрям театрального (сценічного) танцю, який виник у процесі реформування класичного балету на початку ХХ ст. і має певні естетичні особливості. А саме: 1) модифікація класичного танцю у бік більшої пластичної виразності і свободи інтелектуально-конструктивістським методом або методом імпровізації шляхом нових композиційних рішень; 2) пластична візуалізація музики як такої; 3) звідси виникають нові, характерні для неокласичного танцю форми презентації – балет-симфонія і танцсимфонія (безсюжетна форма) [16, с. 489–490].

### **3. Нові пластичні засоби в українському балеті 1960-70-х рр.**

З'ясовано, що у другій половині ХХ ст. сучасна тематика українських балетів стимулювала використання нових виразних засобів, зокрема, пластичних. Перш за все, це стосувалося балетів «узагальноно-символічного змісту» [7, с. 42] і переважного звернення до гранично симфонізованої музики. Так, хореографічні характеристики символічних персонажів балету А. Шекери на музику Л. Дічко «Досвітні вогні» (1967-й р.) відрізнялися новою танцювальною лексикою і характерним для нових стильових напрямів театрального танцю вільним пластичним малюнком.

«Виразний» танець і експресивні пластичні композиції були використані П. Вірським у балеті «Жовтнева легенда» (1967-й р.) на музику Л. Колодуба.

Трансформований класичний танець стає виразним засобом одноактного балету Генріха Майорова «Світанкова поема», створеного

на основі фортепіанних п'єс В. Косенка, поставленого в 1973-му р. у Київському академічному театрі опери та балету ім. Т. Шевченка.

Мовою «виразного» танцю, а саме виразними засобами, «запозиченими з скульптурної і живописної пластики» [7, с. 45] були створені символічні хореографічні образи у балеті-трилогії «В ім'я життя», поставленому в Києві у 1975-му р. балетмейстерами А. Шекерою і Г. Майоровим. Музичною основою трилогії стали твори симфонічного жанру («Партизанські картини» А. Штогаренка, поема «Воз'єднання» Б. Лятошинського, фінал П'ятої симфонії Д. Шостаковича).

Виявлено, що синтез мов віртуозного класичного та «виразного» танцю використовується балетмейстером Г. Майоровим при створенні пластичних характеристик героїв і кордебалету балету-казки «Чиполіно», прем'єра якого відбулася в 1974-му році у Київському академічному театрі опери і балету ім. Т. Г. Шевченка. В цьому балеті, за словами балетмейстера, «у кожного персонажа своя говірка... Якщо у Чиполіно – зухвала хореографія, то у Вишеньки – елегантна...» [1].

При відтворенні хореографічного тексту головними героями (Чиполіно, Принц Лимон та інші) має місце індивідуальне пластичне прочитання» (імпровізація) літературного образу.

Авторкою досліджено, що з 1963-го року і протягом наступних двох десятиліть на сцені харківського театру опери та балету, за свідченням О. Чепалова, вперше з'являються балети, позначені пошуками нових виразних засобів, нових форм, зокрема, театрального танцю. Це: «Кам'яна квітка», «Попелюшка», «Ромео і Джульєтта» С. Прокоф'єва (постановники О. Дадішкіліані, М. Арнаудова, А. Панतिकін); «Прометей» Э. Аристакесяна, «Дон Жуан» В. Губаренка, «Легенда про кохання» (постановник М. Арнаудова), «Панянка і хуліган» Д. Шостаковича (постановник К. Боярський); «Створення світу» і «Берег надії» А. Петрова (постановник М. Газилев); «Пригоди Нільса» І. Ковача (постановники В. Попов, В. Гудименко); рок-балет «Орфей та Еврідіка» на музику А. Журбіна (балетмейстер Н. Боярчиков); вечори балету у постановці Н. Риженко і М. Лієпи (зокрема, «Танці для Айседори» з хореографією Х. Лимона, «Видіння троянди» з хореографією М. Фокіна); балети І. Стравінського «Жар-птиця» (балетмейстер А. Асатурян); «Петрушка» і «Весна священна» (балетмейстер А. Рубіна) [30, с. 26-29].

Так, використання нових форм театрального танцю в образно-пластичному вирішенні своїх вистав 60-70-х рр. ХХ ст. характеризує творчість балетмейстера Харківського театру опери та балету Маргарити Арнаудової. У 1972-му р. відбулася прем'єра її авторської версії балету «Прометей» на музику вірменського композитора Е. Арістокісяна [13, с. 170]. В авторському хореографічному прочитанні міфу М. Арнаудової кожний хореографічний образ поетично символічний. Вона створює «яскравий образ богоборця», стверджує «ідеї перемоги добра і світла над силами зла і темряви» [11, с. 3]. Сцені кузні Гефеста, танець орла, який мучить Прометея та сцена пекла, де Прометея оточують зловісні фурії побудовані з використанням «виразного» танцю. В цьому ж році відбулася ще одна прем'єра М. Арнаудової. Це був спектакль «Дон Жуан» на музику харківського композитора В. Губаренка, в основу якого було покладено драму Лесі Українки «Кам'яний господар» [13, с. 170]. Авторська версія М. Арнаудової у співпраці з композитором і лібретистом була близькою до ідейно-філософського змісту драми. Насичена психологічним змістом музика характеризувала кожний образ. Балетмейстер використовує засоби танцю «модерн» для авторських пластичних знахідок у хореографічному відтворенні фабульних драматичних ліній, знаходить свою хореографічну лексику, яка відрізняє один персонаж від іншого (принцесу, Долорес, циганку, слугу та ін.).

Так, за твердженням М. Загайкевич, найвигідніше у порівнянні з «Кам'яним господарем» А. Шекери у варіанті балету М. Арнаудової виглядали характерні стильові форми «балетмейстерського почерку», що привело до «переконливого образно-танцювального відтворення фабульних драматичних ліній, логічно спрямованих на розкриття основного соціально-психологічного конфлікту» [6, с. 45].

Прем'єра балету «Панянка і хуліган» (балетмейстер К. Боярський) на музику Д. Шостаковича за одноіменним кіносценарієм В. Маяковського відбулася у Малому академічному театрі опери та балету (м. Ленінград) у 1962-му р. Дія відбувається у 20-ті роки ХХ ст. Пластичні характеристики діючих осіб вибудовані засобами танцю «модерн». Хореографічний текст вуличних хуліганів являє собою незграбну приземлену танцювальну лексику з віртуозними стрибками, падіннями, акробатичними елементами боротьби та іншими ознаками експресіо-

ністичного «виразного» танцю. Засобами цього ж танцю з елементами акробатичних підтримок, трансформованої пальцевої техніки вирішені дуети офіціантки і відвідувача ресторану, проститутки, ватажка хуліганів. Мовою класичного танцю балетмейстер характеризує душевні якості юної вчительки. Стосунки Хулігана і Панянки виразно розкриті за рахунок прийому «безконтактний дует», побудованого на різних пластичних характеристиках головних героїв, а також з використанням сформованого в СРСР дуетно-класичного танцю і техніки падінь. Життя вуличних шинків охарактеризоване соціальними (бальними) танцями, виконаними у гротесковій манері. У композиції танцю використані прийоми «стоп-кадру», асиметрії, антиунісону і т. ін. [2].

У 1980-х рр. у Харківському державному ордену Трудового Червоного прапора Академічному театрі опери та балету ім. Н. В. Лисенка балетмейстером Н. Боярчиковим була здійснена постановка опери-балету авторської хореографії «Орфей та Еввідіка» на музику О. Журбіна. Античний міф, що мав в історії балету багато інтерпретацій, став для хореографа джерелом нового змісту і нової танцювальної мови. Темою балета стало моральне переродження творця-людини у творця-ідола, оточеного галасливою славою і його повернення до істинних цінностей.

Оригінальна музика зонг-опери О. Журбіна передувала появі рок-балету. Композитор не написав нової редакції для балету і у спектаклі була використана фонограма рок-опери у виконанні вокально-інструментального ансамблю Ленконцерту «Співочі гітари» у поєднанні з живим звучанням симфонічного оркестру. Прем'єра рок-балета О. Журбіна відбулася у 1975-му році у Ленінграді [27, с. 16]. Сучасна інтерпретація сюжету античної міфології була здійснена засобами нових форм театрального танцю. А саме: «вільного» (Еввідіка і Птах); експресіоністичного (Фортуна, Харон); модерн-джаз-танцю (Зонги) та ін. Цей синтез різновидів танцю «модерн» доповнювався елементами акробатики і пантоміми.

Так, пластика Птаха, що символізував душу Орфея, чуйно реагувала на внутрішні колізії співака. Наприклад, духовна спустошеність героя характеризувалася втратою Птахом здатності літати і приземленістю його танцю. Пластична характеристика Фортуни являла собою різкі рухи, експресивні пози, раптові переходи від нерухомих статичних поз

до складних комбінацій. «Цей образ викликав асоціації то з хижим птахом, то з невтримним полум'ям» [3, с. 34]. Трійця співаків, що змагалися поруч з Орфеєм, після його перемоги перетворювалися у своєму експресивному танці «на якихось жерців ревучого натовпу» [3, с. 35].

З'ясовано, що багато хто з сучасних хореографів створював твори, присвячені А. Дункан: Кеннет Макміллан («Айседора»), Фредерік Аштон («П'ять вальсів Брамса у стилі Айседори Дункан»), Моріс Бежар («Айседора», у виконанні Майї Плисецької), Хосе Лимон (балет «Танці для Айседори»). Цей балет, поставлений Х. Лимоном в 1971-му році, балетмейстер Наталія Риженко перенесла на сцену Харківського театру опери і балету. Засобами американського танцю «модерн» різні танцівниці зображують моменти найвищої напруги, крайнього душевного підйому, коли підсвідомість керує діями А. Дункан у різні періоди її життя: ранньої творчості, материнства, кохання, захоплення революційними ідеями Радянської Росії. Виконавицями харківської постановки стали Т. Бекетова, А. Болотникова, Т. Зоріна, І. Хованова. Шлях танцівниці до вічності і, одночасно, її безсмертя виражає її повільний рух уздовж сцени у промені потужного прожектора з довгим шарфом на шиї [29, с. 13].

#### **4. Танець «модерн» в авторських творах українських балетмейстерів**

З'ясовано, що свої авторські версії балету «Весна священна» на музику І. Стравінського після В. Ніжинського протягом ХХ ст. презентували Моріс Бежар (1959-й р.), Анхелен Прельжокаж, Піна Бауш (1975-й р.). Хореографічний текст цих версій був побудований засобами «виразного» (експресіоністичного) і модерн-джаз танцю. Перша постановка цього балету в Україні була здійснена Аллою Рубіною на сцені Харківського театру імені Н. Лисенка в 1998-му році. Стрижнем постановки стало лібрето Н. Реріха і язичницький обряд, який балетмейстер відтворює через предковичні пластичні символи [26, с. 24–25].

Особливістю авторської версії балету «Петрушка» А. Рубіної на музику І. Стравінського (2000-й р.) є використання прийому «живої декорації» у композиції танцю [21, с. 14], яка створена на сцені півколом танцівників у барвистих костюмах. На відміну від статичного

декораційного живопису в балеті М. Фокіна, декорація А. Рубіної стає рухомою за рахунок пластики, міміки і жестів виконавців.

У 1980-90-х рр. у Київському дитячому музичному театрі балетмейстер Георгій Ковтун продовжує експерименти Генріха Майорова, який у 60-70-х рр. поєднував у своїх постановках класичний танець, танець «модерн», акробатику і побутові жести. В 1990-х рр. у цьому театрі Г. Ковтун презентує свої авторські балети «Ромео і Джульєтта» на музику С. Прокоф'єва, «Мауглі» і «Распутін» на музику А. Градського. Сучасна авторська пластична версія відомих сюжетів вирішується балетмейстером засобом синтезування різних хореографічних мов для пластичних характеристик різних символічних персонажів, що є характерною рисою композиції сучасного балету.

Так, у балеті «Распутін» усі сцени з Вождем являють собою роботизовано жести «народу» («танці машин»); хореографічна партія Распутіна (Сергій Бондур) побудована на «виразному» танці зі «скорпіонячими» позами і складними гімнастичними і акробатичними трюками. Імператорська сім'я (цар, цариця, чотири доньки і спадкоємець) «схарактеризовані за допомогою класичного танцю, і кожна їхня поява супроводжується світлою, поетичною музичною темою» [12, с. 26]. Для пластичної характеристики чекістів хореограф використовує джазовий стиль – «брейк», а у хореографічній характеристиці Царя, навпаки, переважає статичне чергування поз, створюючи образ слабохарактерної людини.

Пластичні характеристики органічно влітаються у композицію масових сцен, що зображають різні пласти життя Росії в часи першої світової війни і вирішених поліфонічною побудовою мізансцен. Так, одна з них, за свідченням Н. Мазур – «на сцені осяяною червоним світлом Привид революції поганяє «запряжений» покірний натовп, страчені підіймаються із безіменної могили і дивляться на країну, залиту кров'ю» [12, с. 27]. Музика А. Градського поєднує розмаїття тем, що характеризують епоху (від «Солдатушки, браво ребятушки» до «Прощання слов'янки»).

У Дніпродзержинському музично-драматичному театрі у 1980-х рр. балетмейстер Анатолій Бедичев (випускник Пермського хореографічного училища та Державного інституту театрального мистецтва А. В. Луначарського) здійснює ряд авторських постановок, що претендують на відродження жанру пластичної драми 20-х рр. XX ст.

Ним були поставлені одноактні балети та балети-пантоміми (сім новел на музику І.-С. Баха, К. Пендерецького, Д. Тухманова); «Весняні чари або танцюємо Вівальді»; на музику «Пори року» (А. Вівальді); «Роздуми» (п'ять п'єс для гітари) і «Марсій» на музику Й. Рехіна; авторська версія «Петрушки» на музику І. Стравінського. Також були поставлені спектакль на музику Чака Манкіоні – «Така нескінченна неділя» и вечори одноактних балетів – «Контрапункти» і «Фатум» в традиціях пластичної драми 20-х рр. ХХ ст. У своїх авторських роботах А. Бедичев використовує такі прийоми композиції танцю «модерн»: *контрапункт зорових та звукових образів* («Контрапункти», «Людина та її тінь», «Чо попало», «Дріада та Циклоп», «Двоє на березі»); *контрапунктування драматургії* – поєднання кількох смислових ліній, кожна з яких несе свою індивідуальність і виразність («Контрапункти»); «монтажні стики» – різкі перепади у пластиці; *крупні та дрібні плани* (балет-пантоміма «Перевертень»); «*накладення кадрів*» (балет-пантоміма «Перевертень»); «*стоп-кадри*» (балет-пантоміма «Перевертень»); «*сповільнена зйомка*» (балет-пантоміма «Перевертень»); використання засобів масової культури – лексики фільмів жаху, еротичного театру, східних бойових технік («Фатум, «Перевертень» та ін.)

Метафоричність хореографічного тексту в мініатюрах балета «Контрапункти» (1987-й р.) вирішена мовою експресіоністичного танцю, якою балетмейстер розповідає про страх перед самотністю, розчарування, розбиту віру, любов («Двоє на березі»); абсурд абсурд («Чо попало»); єдність і боротьбу протилежностей («Дріада і Циклоп»).

Три композиції балету «Фатум» – «Вовкулака» (на музику К. Пендерецького), «Проповідник» (на музику М. Жарра) і «Фатум» – вкрай різні за змістом, мають і вкрай різне пластичне вирішення з використанням прийомів композиції танцю «модерн». Так, «Вовкулака» – це балет-пантоміма, у якому «контрастний зигзаг станів вовкулаки та жінки» [24, с. 8] вирішений за допомогою вищеназваних прийомів: «монтажних стиків», «крупних та дрібних планів», «напливів», «накладення кадрів», «уповільненої зйомки», «стоп-кадрів.

«Проповідник» – це мімодрама, яка відроджує на сцені ідеї Достоєвського, теми совісті, віри, пошуків Бога, спокуси. «Виразний» (експресіоністичний) танець Блудниці має «іноді не завжди коректну хореографічні форму» [24, с. 8].

Ідея шоу «Фатум» про шлях людини у матеріальному світі (народження, пізнання, любов, спокуса, смерть) вирішена вищеназваними засобами масової та побутової «вуличної» культури, у тому числі «брейк-данса», що було необхідним для адекватного втілення. Пластичні характеристики символічних персонажів Пречистої Діви (Діви Марії), Феї Май (Королеви Сну) та ін. побудовані на позах, жестах, гримасах.

В жанрі авторського танцтеатру у 1990-му р. балетмейстер здійснює постановку «Сліпі» М. Метерлінка. Наталія Степаненко наводить слова А. Бедичева, який визначив жанр своєї праці як «пластичну версію драми» [24, с. 8]. У спектаклі немає розгорнутих хореографічних сцен, а сценографія у вигляді тернового вінка, або огорожі з колючого дроту створює статичний замкнутий простір. Пластичність спектаклю створюється прийомом «інтонаційного жесту», який відповідає внутрішньому станові героїв. Настрoєві, образoві, сенсові і ритмові слова відповідає певний жест рук і пальців, положення корпусу і т. інше, що свідчить про застосування композиційного прийому одного з різновидів танцю «модерн» – аедопластики. «Музична лінія» спектаклю вибудована з фрагментів творів І. Габелі, Дж. Б. Перголезі, І.-С. Баха, М. Чекаліна, І. Леня, С. Грюнберга, А. Вівальді.

Приєм «інтонаційного жесту» балетмейстер А. Бедичев використовує і при створенні пластичних характеристик героїв казки «Соловей» Г.-Х. Андерсена (постановка А. Ваніна, сценографія О. Комарницької) [24, с. 6–9].

### **5. Способи засвоєння естетики нових напрямків танцю**

З 70-80-х рр. ХХ ст. низка потужних чинників сприяла зростанню поінформованості радянських хореографів у галузі нових напрямів театрального танцю та активізації їхніх творчих зусиль. До них можна віднести участь вітчизняних балетмейстерів у міжнародних фестивалях та семінарах і гастролі зарубіжних танцтеатрів і балетних труп на території колишнього СРСР: «Гранд-опера» під керівництвом С. Лифаря, англійського королівського балету, балетної трупи «Нью-Йорк сіті балле» (неокласичний танець); американського театру танцю А. Ейлі, бельгійської трупи Моріса Бежара «балет ХХ століття», американської балетної трупи Пола Тейлора, шведської Королівської



опери, польського Великого театру, Празького камерного балету Павла Шмока, «Еллінської хореодрами», Ралу Ману, «авторського театру» Жозефа Руссільо (танець модерн).

Радянські учасники міжнародного фестивалю «Інтербалет – 89» у Будапешті змогли познайомитися з творчістю представників американського та європейського танцю «модерн» на прикладі труп: Хосе Лімона (США); молодіжного ансамблю Нідерландського театру, створеного у 1978-му р. як творча майстерня Іржі Кіліана; Нового Датського театру під керівництвом Анет Абілдгаард та Варена Спеаро; Дьєрського балету під керівництвом Івана Марко; Лодзійської балетної трупи (хореограф-постановник – Єва Войцехівська).

Розвиткові творчих контактів між радянськими, пострадянськими і західними артистами та хореографами сприяли *фестивали і семінари*, такі як «Міжнародний тиждень танцю» (Прага, 1988-й р., 1990-й р.), «Американський фестиваль танцю» (щорічно з 1977-го р.), перший фестиваль сучасного танцю європейських країн (Москва, 1999-й р.) [5, с. 59; 22, с. 26–27; 25, с. 55].

У 2000-му р. Київським центром сучасної хореографії був організований фестиваль «Танець ХХІ століття». У роботі цього фестивалю взяла участь балетмейстер Алла Рубіна зі своїми ученицями-студентками Київського хореографічного училища Аліною Кожокару, Катериною Тихонович, Сергієм Єгоровим, Наталкою Бурлакою. На фестивалі вони мали можливість ознайомитися з творчістю представниці німецького «виразного» танцю Генрієти Горн (школа «Folkwangshule») та інших представників європейської гілки танцю «модерн».

Знаменним моментом стала спроба відтворення на українській сцені балетмейстерської версії Альберто Алонсо «Кармен-сюїта», що була написана композитором Родіоном Щедріним за мотивами опери Бізе «Кармен» для Майї Плісецької. Ця копія вистави А. Алонсо, що народилася на сцені Великого театру в Москві, була перенесена до Харкова, Одеси та Києва. За словами балетмейстера, центральним місцем дії у балеті була вибрана арена у червоному кольорі для бою биків – корида, яка «має велике символічне значення і має багато спільного з тим, що відбувається у житті» [9]. Декорацію Б. Мессерера доповнюють стільці з високими спинками по периметру бар'єра «як на інквізиції».

В пластичній характеристиці Кармен використовуються «пласка» і скорочена ступня, невиворотне положення ніг, що підкреслює зухвалий характер головної героїні. Її сольні і дуетні партії побудовані засобами трансформованого класичного танцю з елементами «виразного» танцю. В експресіоністичній манері побудована партія Тореодора і кордебалету. Орієнтація на індивідуальні якості виконавців позначилась на варіативності здійснених постановок «Кармен-сюїти» у різних театрах. Таким чином, через «повтор-інтерпретацію» [14, с. 8] відбувається опанування і впровадження зарубіжного досвіду в галузі нових напрямів театрального танцю в українському балеті.

### **6. Неокласичний та танець «модерн» в українському балеті 1990-х рр.**

У 90-х рр. ХХ ст. децентралізація художнього життя змушувала українські театри виборювати своє право на автономію різними шляхами. Пожвавлюється експериментаторство, активне опанування нових стильових напрямів театрального танцю (танцю «модерн» і неокласичного), з'являються нові роботи молодих постановників, що презентують «нові форми сучасної вистави»: оперу-балет «Незраджена любов» на музику Л. Колодуба (Донецьк, балетмейстер І. Колюбакіна); оперу-балет «Вічне ім'я твоє» на музику Г. Жуковського (Харків, хореограф В. Шулько); музично-хореографічну містерію «Герніка» на музику Я. Фрейдліна (Одеса, балетмейстер А. Шевельова) та оперу-балет на музику В. Губаренка «Вій» (балетмейстер В. Смирнов-Голованов) [14, с. 12].

Опера-балет «Вій» здобула сценічну долю на сцені Одеського національного академічного театру опери та балету у серпні 1984 року. Над постановкою працювали: режисер Артур Почиковський, диригент Борис Афанасьєв, балетмейстер Віктор Смирнов-Голованов, художник Євген Лисик. Ця постановка пройшла більш ніж 200 разів [20, с. 32].

Наприкінці життя (2000-му р.) композитор В. Губаренко на основі музики опери-балету написав хореографічні сцени і через 30 років було прийняте рішення поєднати ці два самостійні твори [18].

Так, нова постановка опери-балету «Вій» В. Губаренка на цій самій сцені відбулася у вересні 2014-го р. (режисер і хореограф Г. Ковтун). Для хореографічного почерку Г. Ковтуна характерна індивідуальна

пластична мова – самотній сплав «виразного» танцю, складних акробатичних трюків, народно-сценічного танцю з елементами стилізації (у масових сценах ярмарки), трансформованого класичного танцю для вирішення різних характерів персонажів. Жанр опери-балету розділив персонажів на вокальну та танцювальну групи. У пластиці танцю розкривали сутність своїх героїв Гоголь і Панночка. Хореографічний текст Гоголя, який плів мереживо сюжету, побудований балетмейстером на лексиці «contemporary dance».

Пластична характеристика Панночки в сольних і дуетних формах (з Хомою) наближається до «виразного» танцю, але в порівнянні з культовою експресіоністичною роботою М. Вігман «Відьма» її танець, а також масовий танець «нечисті» недостатньо виразно розкриває сутність явища.

Таким чином, оновленню лексики театрального танцю спонукали сучасні музичні твори – прочитання літературних аналогів. Іншими прикладами стають: балет «Материнське поле», поставлений у Дніпропетровському театрі за мотивами повісті Ч. Айтматова на музику К. Молдобаксанова. Балет був створений у 1975-му р. в Киргизській РР, а у 1976 році поставлений в багатьох театрах союзних республік колишнього СРСР і за кордоном. А також, балет «Медея» на музику Р. Габічвадзе (Львів), у якому пластичними виражальними засобами є «вільний» танець (кордебалет) і неокласичний (Медея).

Досліджено, що учень новатора Федора Лопухова по Ленінградській консерваторії Ашот Андрійович Асатурян (балетмейстер з Вірменії) був запрошений на роботу до Харківського театру опери та балету і його першими спектаклями у 1991-му році стали «Жар-птиця» і «Орфей» на музику І. Стравинського. Засобами неокласичного танцю А. Асатурян у балеті «Орфей» показав внутрішню боротьбу Художника з самим собою, а у «Симфонічних танцях» С. Рахманінова (1997-й) «відчувалася ... туга у пластичних інтонаціях Художника, якого залишала Муза, але вітала Батьківщина» [29, с. 13].

У 1990-ті роки постановки балетів у цьому театрі здійснювали зарубіжні митці, зокрема, хореограф Х. Мюллер з Німеччини (балет «Наші уста виповнюють радістю») [30, с. 28–29].

Наприкінці 90-х рр. ХХ ст. в Києві починає свої перші експерименти у галузі нових напрямів театрального танцю балетмейстер

Аніко Рехвіашвілі (на той час завідувач першої в Україні кафедри сучасної класичної хореографії Київського національного університету культури і мистецтв, з 2013-го року художній керівник балетної трупи національної опери України), лауреат Міжнародного конкурсу артистів балету ім. С. Лифаря в номінації «Хореографи».

Наприкінці 90-х рр. на базі створеного нею колективу «АНИКО Балет» хореограф здійснює ряд авторських постановок, головним виразним засобом яких стають нові форми театрального танцю. А саме: експресіоністичного танцю – хореографічна мініатюра «Крик» за мотивами однойменної серії експресіоністичного живопису Е. Мунка (1996-й р.) з використанням експресивних стрибків у чоловічій партії; «Марна розмова» (1996-й р.); неокласичного танцю – мініатюра-замальовка «Чекання» (2014-й р.); «Ave Maria» на музику Джуліо Качині (1999-й р.); одноактні балети «Рондо» (1997-й р.) на музику Джованні П'єро Ревербері і «Болеро» на музику Моріса Равеля (1998-й р.).

Нами з'ясовано, що ще в 1928-му р. М. Равель створив музику для балету «Болеро» на замовлення балерини Іди Рубінштейн. Прем'єра балету відбулась 22 листопада 1928-го р. у Паризькій опері з хореографією Б. Ніжинської і декораціями Олександра Бенуа. Згідно сюжету цієї першої постановки «Болеро», відвідувачі іспанської таверни розповідають історії про складне переплетення темних пристрастей. «М. Равель трансформував іспанський танець «болеро» кінця XVIII ст., витриманий у потрібному помірному ритмі, – у мотив, що монотонно повторюється, а у фіналі досягає розпеченого пароксизму» [4, с. 194-195].

Наступні постановки «Болеро» були створені С. Лифарем, Антоном Доліним, Авреліо Мілошем, Морісом Бежаром, останнім – у стилі «модерн».

У балеті «Болеро», А. Рехвіашвілі що є репрезентацією психологічних стосунків між чоловіком і жінкою, індивіда та суспільства, виразні засоби неокласичного танцю синтезуються з стилізованим іспанським народним танцем.

Балет «Рондо» на музику Дж. Ревербері, що складається з декількох хореографічних картин («*Visioni di Venesia*», «*Ultimo Incontro*», «*Note Venesiana*», «*Venti d'Oriente*», «*Accademia*») [31] балетмейстер засобами дуетної форми неокласичного танцю розповідає про різні грані відносин між коханими чоловіком і жінкою: про молодість і початок відносин,

гармонію і спокій, розставання, вічний рух, пошук, відкриття. Хореографічний текст персонажів балету побудований на швидких турах шене, обертах у позах «I arabesques» і «attitude», кроках, бігові, партерних, а іноді повітряних підтримках однією та двома руками за талію.

### 7. Висновки

1. Виявлені українські балетмейстери – представники нових напрямків театрального танцю (танцю «модерн» і неокласичного танцю) другої половини ХХ – поч. ХХІ ст. та досліджено їхній творчий доробок у цієї галузі: Г. Майоров, П. Вірський, А. Шекера, М. Арнаудова, Г. Ковтун, А. Бедичев, А. Рубіна, О. Ніколаєв, А. Рехвіашвілі.

2. Виявлені способи засвоєння і опанування естетики танцю «модерн» українськими хореографами другої пол. ХХ – поч. ХХІ ст.: а) гастролі зарубіжних балетних труп: С. Ліфаря, М. Бежара, П. Тейлора, П. Шмока, шведської Королівської опери, польського Великого театру, театрів танцю А. Ейлі, Р. Ману, Ж. Руссільйо у другій пол. ХХ ст. на території колишнього СРСР; б) ознайомлення с творчістю зарубіжних представників нових напрямків театрального танцю під час участі українських балетмейстерів у міжнародних фестивалях і семінарах 80-х рр. ХХ – поч. ХХІ ст. («Американський фестиваль танцю», «Міжнародний тиждень танцю» у Празі, «Танець ХХІ століття» у Києві та ін.); в) постановки балетів авторської хореографії і хореографії відомих балетмейстерів (М. Фокіна, Х. Лимона) – представників нових напрямків театрального танцю на українських сценах зарубіжними митцями (М. Лісла, М. Боярчиков, К. Боярський, Х. Мюллер).

3. Виявлені шляхи впровадження стилю «модерн» в хореографії і неокласичного танцю в українському балеті ХХ – поч. ХХІ ст.: а) цитування або повтор авторської хореографії відомих балетмейстерів («Танці для Айседори» Х. Лимона; «Видіння троянди» М. Фокіна, «Кармен-сюїта» А. Алонсо) – представників нових напрямків театрального танцю; б) створення українськими балетмейстерами авторських версій відомих творів світового сучасного балету («Петрушка», «Весна священна» – А. Рубіна, А. Бедичев, Г. Ковтун; «Жар-птиця» на музику І. Стравінського – А. Асатурян; «Ромео і Джульєтта» на музику С. Прокоф'єва – Г. Ковтун; «Болеро» А. Рехвіашвілі); в) створення українськими балетмейстерами оригінальних авторських творів

засобами танцю «модерн» і неокласичного танцю; зокрема, шляхом діалогу різних стильових напрямків в середині одного твору.

4. Досліджено форми презентації танцю «модерн» і неокласичного танцю на українській театральній сцені: хореографічні вечори; балетні вистави; опера-балет; балет-пантоміма; так звана, «пластична версія драми» (ритмопластичні побудови масових сцен; пластичні лейтмотиви – характеристики персонажів).

### **Список літератури:**

1. Ballet chipollino – Цискаридзе – Балет «Чиполлино» – Absolute pitch: веб-сайт. URL: [https://youtu.be/RSS21H\\_gyuM](https://youtu.be/RSS21H_gyuM) (дата звернення: 08.01.2020).

2. Барышня и хулиган. Фильм-балет: веб-сайт. URL: [https://youtu.be/OgU\\_hJ9FThO](https://youtu.be/OgU_hJ9FThO) (дата звернення: 10.10.2019).

3. Бортник К.В. Опанування нової стилістики танцю в контексті сучасної інтерпретації античного міфу (на прикладі постановки рок-балету О. Журбіна «Орфей та Еврідика» в ХАТОБ. *Вісник ХДАК*. 2008. № 15. С. 31–37.

4. Гваттерини М. Болеро. *Азбука балета* / пер. с ит. Ю. П. Лисовського. Москва. С. 192–197.

5. Горшкова Я. Дебют камчатского коллектива. *Советский балет*. 1990. № 2. С. 59.

6. Загайкевич М. «Дон Жуан» Виталия Губаренко. В полемике с канонами. *Танец в Украине и мире*. 2014. № 2(8). С. 44–45.

7. Загайкевич М.П. Украинское балетное творчество. Проблемы драматургии и развития жанра : автореф. дис. на соискание науч. степени док-ра искусств-ия : 17.00.02. Киев, 1981. 49 с.

8. Зінич О.В. Пластичність у балетній музиці М. Равеля (в аспекті взаємодії мистецтв) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд-та мистецтвозн-ва : 17.00.03. Київ, 2004. 17 с.

9. «Кармен-сюита» с Майей Плисецкой и кубинской балериной Лойпой Арауго (1978): веб-сайт. URL: <https://youtu.be/Ut7kidCHoOg> (дата звернення: 8.10.2019).

10. Козинко Л.Л. Традиції фольклорної культури в сучасному народно-сценічному танці та балетному театрі України : автореф. дис. ... канд. мистецтвозн.: 17.00.02. Київ, 2012. 19 с.

11. Липчанська В. Прометеїв вогонь. *Вечерній Харків*. 1970. 27 жовтня. С. 3.

12. Мазур Н. Спектакль, поставлений «для себя». *Советский балет* 1991. № 4. С. 26–27.

13. Марков Л.В. Творчий шлях Маргарити Арнаудової (1960-і – початок 70-х років). *Вісник ХДАК*. 2011. № 5. С. 169–171.

14. Павлюк Т.С. Українське балетмейстерське мистецтво другої половини ХХ ст. : автореф. дис. на здобуття наук ступ. кан-та мистецтв-ва : 17.00.01. Київ, 2005. 19 с.

15. Пасютинская В.М. Жанровое многообразие украинского советского балета (1917-1975 гг.) : автореф. дис. на соискание науч. степени кан-та искусств-ния : 17.00.01. Москва, 1977. 25 с.

16. Погребняк М.М. Неокласичний танець: генеза та формування його естетико-стильових особливостей у театрі Джоржа Баланчіна. *Вісник Львівського університету. Серія мистецтвознавство*. 2013. Вип. 12. С. 481–490.

17. Погребняк М.М. Танець модерн ХХ ст.: витоки, стильова типологія, панорама історичної ходи, еволюція: монографія. Полтава, 2015. 312 с.

18. Прем'єра опери-балета «Вій»: веб-сайт. URL: <https://youtu.be/Rq8SS37ljdc> (дата звернення: 08.10.2019).

19. Семенова Н. М. Національна балетна вистава в українській хореографічній культурі ХХ – початку ХХІ століть : автореф. дис. на здобуття наук ступеня к-та мист-ва : 26.00.04. Харків, 2019. 203 с.

20. Сергейчук Людмила. На пути творческих исканий. *Танец в Украине и мире*. 2015. № 1(9). С. 32–33.

21. Сергієва О.В. Структура і функції тексту в ранніх балетах І. Стравінського : автореф. дис. на здобуття наук ступ. кан-та мистецтв-ва : 17.00.03. Київ, 2008. 19 с.

22. Сикалов В. Танец ХХІ века плывущего на восход солнца. *Art line*. 1998. № 4. С. 26–27.

23. Станишевский Ю.А. Режиссура и балетмейстерское искусство в украинском советском музыкальном театре (1917–1941) : автореф. дис. на соискание учен. степени докт. искусств. : 17.00.01. Київ, 1974. 89 с.

24. Степаненко Н. Творчество – Вопреки апатии. *Советский балет*. 1991. № 3. С. 6–9.

25. Тесар П. Неделя танца – 88. *Советский балет*. 1989. № 1. С. 55.

26. Чепалов А. И. «Весна священная: весна балета ХХ века». *Танец в Украине и мире*. 2013. № 1(5). С. 24–25.

27. Чепалов А.И. Опера-балет «Орфей и Эвридика» А. Журбина в Харьковском театре оперы и балета; хореограф Н. Боярчиков; худож. А. Коженкова; использована фонограмма ленинградского ВИА «Поющие гитары». *Советский балет*. 1983. № 1. С. 16.

28. Чепалов А.И. Танец Айседоры: назад, в будущее. *Танец в Украине и мире*. 2014. № 1(7). С. 12–13.

29. Чепалов А. Украинская песнь армянского «Орфея». *Танец в Украине и мире*. 2011. № 2. С. 12–13.

30. Чепалов О. Харьковский балет в зеркале истории. *Танец в Украине и мире*. 2012. № 2(4). С. 26–29.

31. Шариков Д. Авторський неокласичний театр сучасної хореографії «Сузір'я Аніко»: стилістика, формально-технічні засоби репрезентації. *Актуальні питання гуманітарних наук*. Дрогобич : ДДПУ імені І. Франка. 2015. Вип. 13. С. 161–168.

32. Яніна-Ледовська Є. Культурна обумовленість хореографічних інтерпретацій балету І. Стравінського «Весна Священна» : автореф. дис. на здобуття наук ступеня к-та мист-ва : 26.00.01. Харків, 2017. 24 с.



**References:**

1. Ballet chipollino – Ciskaridze – Balet «Chipollino» – Absolute pitch [Ballet chipollino – Tsyskarydze – Ballet «Chipolino» – Absolute pitch] (2012) (electronic resource). Retrieved from: [https://youtu.be/RSS21H\\_gyuM](https://youtu.be/RSS21H_gyuM) (accessed 8 January 2020). (in Russian)
2. Baryshnya I khuligan. Fil'm-balet [Young lady and hooligan. Film – ballet] (2017) (electronic resource). Retrieved from: [https://youtu.be/OgU\\_hJ9FThO](https://youtu.be/OgU_hJ9FThO) (accessed 10.10.2019).
3. Bortnyk, K. V. (2008). Opanuvannya novoji stylistyky tancju v konteksti suchasnoji interpretaciji antychnogho myfu (na prykladi postanovky rok-baletu O. Zhurbina «Orfej ta Evridyka» [Mastering a new style of dance in the context of modern interpretation of ancient myth (on the example of staging of O. Zhurbin rock – ballet «Orpheus and Eurydice» in Kharkov Academic Opera and Ballet Theater]. *Visnyk of the KhSAofC*, № 15, pp. 31–37.
4. Gvatteryny, M. (2001). Bolero [Bolero]. *Azbuka baleta* [Alphabet of ballet]. Moscow: BMM AO, pp. 192–197.
5. Gorshkova, Ya. (1990). Debyut kamchatskogo kollektiva [Debut of Kamchatka collectiv]. *Soviet ballet*, № 2, p. 59.
6. Zahaykevych, M. P. (2014). «Don Zhuan» Vitalija Gubarenko. V polemike s kanonami [«Don Juan» by Vitaly Hubarenko. In controversy with the canons]. *Dance in Ukraine and the world*, № 2(8), pp. 44–45.
7. Zahaykevych, M. P. (1981). Ukrainskoe baletnoe tvorchestvo. Problemy dramaturgii i razvittija zhanra [Ukrainian ballet art. Problems of drama and genre development] (PhD Thesis), Kyiv: National Academy of sciences of Ukraine, Rylsky Institute of art studies, folklore and ethnology.
8. Zynych, O. V. (2004). Plastychnistj u baletnij muzyci M. Ravelja (v aspekti zajemodiji mystectv) [Plasticity in M. Ravel's ballet music (in terms of the interaction of the arts)] (PhD Thesis), Kyiv: Tchaikovsky National Academy of Music of Ukraine.
9. «Karmen-sjuita» s Majej Pliseskoj i kubinskoj balerinoj Lojpoj Arauho [«Carmen Suite» with Maya Plisetsky and Cuban ballerina Loypa Araukho] (2019) (electronic resource). Retrieved from: <https://youtu.be/Ut7kidCHoOg> (accessed 8 October 2019).
10. Kozyenko, L. L. (2012). Tradyciji foljklornoji kuljтуры v suchasnomu narodno-scenichnomu tanci ta baletnomu teatri Ukrajinj [Traditions of folk culture in modern folk dance and ballet theatre of Ukraine] (PhD Thesis), Kyiv: National Academy of sciences of Ukraine, Rylsky Institute of art studies, folklore and ethnology.
11. Lypchans'ka, V. (1970). Prometejiv voghonj [Prometheus fire]. *Evening Kharkiv*, 27 October, p. 3.
12. Mazur, N. (1991). Spektakl', postavlennyj dlja sebja [A performance, staged «for oneself»]. *Soviet ballet*, № 4, pp. 26–27.
13. Markov, L. V. (2011). Tvorchyj shljakh Margharyty Arnaudovoj (1960-i – pochatok 70-kh rokiv) [Creative path of Marharyta Arnaudova (1960-s – the beginning of 70-s years)]. *Visnyk of the KhSAofC*, № 5, pp. 169–171.



## Chapter «History of Art»

---

14. Pavlyuk, T. S. (2005). Ukrainsjke baletmejestersjke mystectvo drugoho polovyny XX st. [Ukrainian ballet art of the second half of the XX century] (PhD Thesis), Kyiv: State Academy of Management of Culture and Arts.

15. Pasyutinskaya, V. M. (1977). Zhanrovoe mnogoobrazie ukrainskogo sovet-skogo baleta (1917–1975 gg.) [Genre many imagery of Ukrainian Soviet ballet (1917–1975)] (PhD Thesis), Moscow: State Order of the Red Banner of Labour Institute of Theatre Arts named after A. V. Lunacharsky.

16. Pogrebnyak, M. M. (2013). Neoklasychnyj tanecj: gheneza ta formuvannja jogho estetyka-styljovykh osoblyvostej u teatri Dzhordzha Balanchina [Neo-classical dance: Genesis and formation of it's aesthetic and stylistic features in the theatre of George Balanchine]. *Visnyk of Lviv University. Art Studies series*, issue 12, pp. 481–490.

17. Pogrebnyak, M. M. (2015). Tanec «modern» XX st.: vytoky, styljova typologhija, panorama istorychnoji khody, evoljucija: monoghrafija [Modern dance XX century: origins, stylistic typology, panorama of the historical course, evolution: monograph]. Poltava: PNP named after V. G. Korolenko. (in Ukrainian)

18. Prem'era opery-baleta «Vij» [Premiera of the opera – ballet «Eyelashes»] (2015) (electronic resource). Retrieved from: <https://youtu.be/Rq8SS37ljdc> (accessed 8 October 2019).

19. Semenova, N. M. (2019). Nacionaljna baletna vystava v ukrainskij khoreoghrafichnij kuljture XX – pochatku XXI stolitj [National ballet performance in Ukrainian choreographic culture of the XX – the beginning of the XXI centuries], (PhD Thesis), Kharkiv: Kharkiv State Academy of Culture.

20. Serhejchuk, L. (2015). Na puti tvorcheskih iskanij [On the path of creative search]. *Dance in Ukraine and the world*, № 1(9), pp. 32–33.

21. Serhiyeva, O. V. (2008). Struktura i funkciji tekstu v rannikh baletakh I. Stravinskogho [Structure and functions of the text in I. Stravinsky's early ballets] (PhD Thesis), Kyiv: Tchaikovsky National Academy of Music of Ukraine.

22. Sikalov, V. (1998). Tanets XXI veka plyvushego na voshod solntsa [Dance of the XX century, which is swimed to the easy of the Sun]. *Art line*, № 4, pp. 26–27.

23. Stanishevsky, Yu. A. (1974). Rezhissura i baletmejesterskoe iskusstvo v ukrainskom sovet'skom muzykal'nom teatre (1917–1941) [Directing and choreography in the Ukrainian Soviet Musical Theatre (1917–1941)] (PhD Thesis), Kyiv: National Academy of sciences of Ukraine, Ryl'sky Institute of art studies, folklore and ethnology.

24. Stepanenko, N. (1991). Tvorchestvo – Vopreki apatii [Art – Against apathy]. *Soviet ballet*, № 3, pp. 6–9.

25. Tesar, P. (1989). Nedelja tanca [Dance week – 88]. *Soviet ballet*, № 1, p. 55.

26. Chepalov, A. I. (2013). Vesna svjashhennaja: vesna baleta XX veka [«holy spring»: ballet spring of the XX century]. *Dance in Ukraine and the world*, № 1(5), p. 24–25.

27. Chepalov, A. I. (1983). Opera-balet «Orfej i Jevridika» A. Zhurbina v Har'kovskom teatre opery I baleta; horeograf N. Bojarchikov; hudozh. A. Kozhenkova; ispol'zovana fonogramma leningrad'skogo VIA «Pojuushhie gitary» [Opera-ballet «Orpheus and Eurydice» by A. Zhurbin at the Kharkiv Opera and Ballet Theatre; choreographer N. Boyarchykov; artist A. Kozhenkova; used phonogram of the Leningrad VIG «Singing guitars»]. *Soviet ballet*, № 1, p. 16.

28. Chepalov, A. I. (2014). Tanec Ajsedory: nazad, v budushhee [Isadora dance: back to the future]. *Dance in Ukraine and the world*, № 1(7), pp. 12–13.

29. Chepalov, A. I. (2011). Ukrainskaja pesn' armjanskogo «Orfeja» [Ukrainian song of Armenian «Orpheus»]. *Dance in Ukraine and the world*, № 2, pp. 12–13.

30. Chepalov, A. (2012). Har'kovskij balet v zerkale istorii [Kharkiv ballet in the mirror of history]. *Dance in Ukraine and the world*, № 2(4), pp. 26–29.

31. Sharikov, D. (2015). Avtorsjkyj neoklasychnyj teatr suchasnoji khoreografiji «Suzir'ja Aniko»: stylistyka, formaljno-tekhniczni zasoby reprezentaciji [Author's neo-classical theatre of modern choreography «Constellation Aniko»: stilistics, formal and technical means of representation]. *Topical issues of the humanities*, issue 13, pp. 161–168.

32. Yanina-Ledovs'ka, Ye. (2017). Kulturna obumovlenistj khoreografichnykh interpretacij baletu I. Stravinskogho «Vesna Svjashenna» [Cultural due to STB choreographic interpretations of I. Stravinsky's ballet «Holy Spring»], (PhD Thesis), Kharkiv: Kharkiv State Academy of Culture.

## CHAPTER «GEOGRAPHICAL SCIENCES»

### CLIMATIC FEATURES OF THE BILOOZERSKYI ARRAY OF THE RIVNE NATURE RESERVE

Mykhailo Melnyichuk<sup>1</sup>

Oleksandr Koval<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-46>

**Abstract.** *The purpose* of the study is to characterize the climatic conditions in the Biloozerskyi array of the Rivne Nature Reserve and to identify its peculiarities according to the indicators from the meteorological stations in Sarny, Liubeshiv and Manevychi.

*Subject of study.* Climatic features in the Biloozerskyi array of the Rivne Nature Reserve in modern conditions of global warming.

*Methodology.* In the article results of observations of the period 2006-2018 from the meteorological stations in Sarny, Liubeshiv and Manevychi are used, namely: atmospheric pressure, wind regime, air temperature, humidity, cloudiness, precipitation, snow cover. These materials are freely available in the Internet network: <http://www.pogodaiklimat.ru>, <http://rp5.ua>. Climatological information has been analyzed in the course of the research. Calculations of mathematical statistics and methods of constructing graphical model (Excel) have been used. Furthermore, interpolation techniques have been performed with help of Vertical Mapper 3.0 in MapInfo Professional 9.5. Indicators of radiation and light regime, partial pressure of water vapor and its deficiency have been analyzed according to the results of observations in the Kovel meteorological station. The scientific work is based on statistical, analytical, comparative, graphic and descriptive methods of research.

---

<sup>1</sup> Candidate of Geographical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Physical Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University, Ukraine

<sup>2</sup> Postgraduate Student of the Department of Physical Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University, Ukraine

*Conclusions of research.* In the course of the study, the main meteorological indicators of the climate regime in the Biloozerskyi array of the Rivne Nature Re-serve have been established. The radiation regime of the study area is determined by the position of the Sun on the sky and the time of sunrise and sunset. Anticyclones dominate in the general circulation of the atmosphere. They move from the west, southwest, northwest, north, northeast and southeast, while cyclones move from the west, southwest, northwest, south, or are of local origin. The average annual atmospheric pressure is 996.1 hPa with an amplitude within 5.5 hPa. In wind regime, during the cold period, western, southwestern, southern and southeastern winds, dominate, in the warm season – the western, northwestern, southwestern and southeastern winds, there is a high proportion of calm. The average annual wind speed is 2.0 m/s with an amplitude of 0.7 m/s. The maximum wind speed is in January is 2.4 m/s, and the minimum is in August – 1.7 m/s. The average annual air temperature is +8.7°C with a maximum in July – +20.2°C and a minimum in January – -3.5°C. The average relative humidity of the study area is 77.7 %, the maximum is in December – 87.9 %, and the minimum is in April – 68.6 %. The average annual total cloudiness of the territory is 6.5 points, and lower cloudiness is 4.3 points. The maximum cloudiness occurs in December, and the minimum is in August. The territory is located in the zone of sufficient humidity, therefore, the amount of precipitation is 656.5 mm, of which: in the warm period falls 443.5 mm, in the cold period – 213 mm. The maximum amount of precipitation falls in July – 91.9 mm, and the minimum is in February – 32.5 mm. Tables and graphs have been used for better representation of information.

The materials of this research can be used for further meteorological research of nature reserves, in recreational and agrometeorology purpose, in the educational process, namely for studying homeland subjects.

## **1. Introduction**

Rivne Nature Reserve is nature protection territory. It was created in 1999 on the base of four wildlife preserves of the national value, separated one from other territorially: “Biloozerskyi” – Volodymyretsnyi district, “Somyno” – Sarnenskyi district, “Syra Pohonia” – Rokytnivskyi district, “Perebrodivskyi” – Dubrovytskyi and Rokytnivskyi districts. From the moment of formation of Rivne Nature Reserve, each of them has ceased to

exist as an independent object of the natural reserve fund and has become its part. The Biloozerskyi forest district embraces that territory of former landscape wildlife preserve of national value of “Biloozerskyi” that has entered in the complement of Rivne Nature Reserve and Biloozerskyi is named as an “array”.

**Formulation of the problem.** In the conditions of the growing anthropogenic loading on the natural complexes, study of the climatic features and dynamics of the meteorological indexes of territories is relevant. The nature reserve territories have the special interest among natural complexes. Therefore, research of the weather elements within the limits of Biloozerskyi array of Rivne Nature Reserve has large scientific interest.

**Analysis of researches and publications on the problem.** This direction of the climate researches at the last decades is actively developed by the employees of the Lesya Ukrainka Eastern European National University. Thus, these ques-tions are exposed better of all in the monograph “Nature of Western Polissia, adherent to Khotyaslavsky quarry of Belarus”. In particular, the radiation and light mode, features of atmospheric circulation and wind, thermal mode and mode of moistening, atmospheric phenomena are analyzed [3].

The research of climate of the northeast Volyn Polissia, where Rivne Nature Reserve is located, comes true only on the data basis of the Sarny meteorological station. Thus, at the works of Tarasiuk F. P. and Tarasiuk N. A., the question of the atmospheric circulation, wind and thermal modes [7], the mode of moistening and cloudiness is considered [8]. At the works of Voloshynova N. O. and Gorbach A. O., the question of the temperature features condition and the mode of moistening of Rivne Nature Reserve is considered, according to the meteorological station of Sarny for the period 2000-2008 [2].

The results of the previous researches are not presentable enough for all the territory of Rivne Nature Reserve because three arrays of reserve are located to the close proximity to Sarny, while Biloozerskyi array is located over 60 kilometres to the west of Sarny. Therefore, at the study of climatic terms of this territory, it is worth considering to the account data of the Manevychi and Liubeshiv meteorological stations at the Volyn area that is located much closer.

## 2. Radiation and light mode

Solar radiation is the main source of energy for almost all natural processes and phenomena occurring in the geographical envelope and one of the main factors of climate formation [4, p. 41]. The radiation regime is determined primarily by astronomical factors: the position of the Sun on the sky at different times of the day and year as well as the time of sunrise and sunset. The duration of the day changes throughout the year. The shortest day (7.5 hours) and the lowest Sun ( $h = 15^\circ$ ) at noon are recorded in December. The longest day (16.5 hours) and maximum sunshine at noon ( $62^\circ$ ) can be traced in June.

*Duration of sunshine.* An important indicator of the radiation regime is the duration of the sunshine, which is determined by the number of hours, during which the sun illuminated the terrain. The number of sunshine depends on the length of day, cloudiness and the horizon. The length of the day, which depends on the latitude of the place and the time of year, determines the theoretically duration of the sunshine, the duration of the sunshine in a cloudless sky at a particular latitude [4, p. 42].

Therefore, on the latitude of the studied territory, the Sun shines 1864 hours per year, 1529 hours of them are in the warm period from April to October.

The lowest values of duration of sunshine are recorded in winter, which is caused by the shortest day duration and the highest cloudiness. On the investigated territory, the minimum duration of sunshine is fixed in December and it is 37 hours per month (Table 1).

In January, the duration of the sunshine increases slightly and in February it almost doubles – 55 hours (21 %) and 67 hours (24 %), compared to December. In spring, the length of the day is increasing and the cloudiness is reducing, which causes an intense increase on the duration of the sunshine and its quality indicators. Thus, in March, these are 131 hours (36 %), 186 hours in April (45 %) and 269 hours in May (56 %) (Table 1). However, in June, despite the increase from the length of day, the number of hours of sunshine decreases due to the increase in cloudiness and these are 252 hours or 51 %. The maximum duration of the sunshine reaches 278 hours in July or 55 % due to a decrease in cloudiness and an increase at the number of clear days. In August, the duration of the sunshine is 254 hours (56 %). The reason is a decrease in cloudiness and an increase in the ratio of the true duration of the sunshine, which reaches its maximum.

Table 1

## Indicators of solar radiation\*

	Direct solar radiation on a horizontal surface, MJ/m <sup>2</sup>	Scattered solar radiation, MJ/m <sup>2</sup>	Total solar radiation, MJ/m <sup>2</sup>	Radiation balance, MJ/m <sup>2</sup>	Reflectance, %	Duration of sunshine, hours
January	27	56	83	-34	59	55
February	37	84	121	-18	52	67
March	117	160	277	59	36	131
April	154	196	350	141	19	186
May	262	255	517	217	19	269
June	285	258	543	259	19	252
July	264	279	543	245	19	278
August	247	226	473	187	19	254
September	149	163	312	101	19	157
October	71	99	170	29	20	133
November	26	53	79	-8	26	45
December	11	41	52	-34	48	37
<b>Winter</b>	75	181	256	-86	53	159
<b>Spring</b>	533	611	1144	417	27	586
<b>Summer</b>	796	763	1559	691	19	784
<b>Autumn</b>	246	315	561	122	22	335
<b>The cold period</b>	218	394	612	-35	44	335
<b>The warm period</b>	1432	1476	2908	1179	19	1529
<b>Year</b>	1650	1870	3520	1144	23	1864

\* – according to the source [1, pp. 40–41; 3, p. 67]

In autumn, the duration of the sunshine decreases significantly due to the increase in cloudiness and the decrease on the length of day, at the same time the quality index decreases. Thus, in September, the number of hours of sunshine de-creases to 157 hours (41 %), 133 hours in October (40 %), 45 hours in November (17 %) (Table 1). The greatest relative stability of sunshine is traced 51-56 % from May to August. With duration of sunshine, there is a number of days without a sun. In general, there are 95 days

without sun during the year. Most of them are observed in the cold period, 18-20 days, with a maximum in December. In spring, the number of days without sun decreases and in May these are 1-4 days. In summer, the days without the sun are rarely 1-3 days. In autumn, their number increases and in October there are 6-9 days [4, p. 45].

*Radiation balance of underlying surface.* Total radiation depends on many factors: the height of the sun, the length of the day, the transparency of the atmosphere, the cloudiness. The daily course of total and direct radiation is determined by the height of the Sun, so its maximum in the absence of cloud accounted for noon [4, p. 52]. In the warm period, at the real terms of cloudiness, the change of direct solar radiation during a day is asymmetrical relatively for noon to noon sums more than after noon [4, p. 45]. The maximum of the scattered radiation during the warm season is shifted by the first half of the day as the amount of water vapor that absorbs solar radiation increases during the day [4, p. 50]. At cloudy days, the normal course of total radiation is disturbed according to the actual change of cloud cover. This contributes not only to the reduction but also to the increase in solar radiation and in particular scattered radiation. Due to the reflection of solar radiation from pile clouds, not only scattered but also total radiation can increase. The share of direct radiation fluctuates throughout the year. From November to February, the proportion of direct radiation is 21-33 % and 42-53 % from March to October (Table 1).

In the annual course, the maximum monthly sums of total radiation account 543 MJ/m<sup>2</sup> for June-July and the minimum (52 MJ/m<sup>2</sup>) for December (Table 1). During the year, there is a sharp increase in the monthly sums of total radiation from February to March (an average of 156 MJ/m<sup>2</sup>), which is caused not only by an increase in the sun's height and by the length of the day but also by better transparency of the atmosphere in March. A sharp decrease in total radiation by 142 MJ/m<sup>2</sup> can be traced from September to October.

The radiation balance of the underlying surface is determined by the difference between the radiation energy input and its consumption. Therefore, it can be both positive and negative. The formation of the radiation balance is determined by the duration of the sunshine, the cloudiness, the state of the atmosphere, the underlying surface [4, p. 61].

The annual radiation balance is negative -34 MJ/m<sup>2</sup> from November to February with a minimum in December-January, which is caused by low



total radiation and the highest reflectance. The maximum values of the radiation balance are fixed in June – 259 MJ/ m<sup>2</sup>. The radiation balance for the year reaches 1144 MJ/m<sup>2</sup>, 32.5 % of total radiation (Table 1).

The daily course of the radiation balance depends on the height of the sun above the horizon, cloudiness and transparency. At the daytime, the radiation balance is usually positive during the day with a high at noon and negative at night with a low after sunset. The transition of the radiation balance from positive to negative values and vice versa occurs at an altitude of the Sun above the horizon of approximately 5-15°. The significant effect on the daily course of the radiation balance and passing it through zero is made by the cloud, which at night weakens the effective radiation and in the daytime reduces the total radiation [4, pp. 63–64].

### **3. General circulation of the atmosphere, atmospheric pressure and wind**

*Features of atmospheric circulation.* Solar radiation causes uneven warming of the earth's surface, which leads to the displacement of air masses. It is the circulation of the atmosphere, which is an important climatic factor. The interaction of atmospheric circulation and solar radiation is reflected in the peculiarities of the annual and daily course of meteorological elements.

The formation of the climate of the territory of Ukraine is significantly influenced by the western transfer of air masses from the Atlantic, which is accompanied by cyclone and anticyclone activity. Ukraine has an average of 63 % of days with anticyclones and 37 % with cyclones a year.

In Ukraine, low pressure regions (cyclones and basins) become 42 % of all bar formations. There are an average of 43 cyclones and 60 basins annually and local cyclogenesis generates an average of 17 cyclones, most of them in summer (7) [4, p. 89].

Low atmospheric pressure barricades are mainly displaced from the west, south and northwest but the southern cyclones are the most intense and long lasting. Local cyclones are less frequent and their duration is much shorter. The duration of cyclone formations increases from summer to winter with only southeastern and southern cyclones, having the highest duration in summer. Southern cyclones last up to 57 hours in summer and local ones last up to 15-18 hours [4, p. 90].

Notable areas of low atmospheric pressure – basins – occupy a significant place among bar systems. Their recurrence in separate seasons makes 12-16 cases.

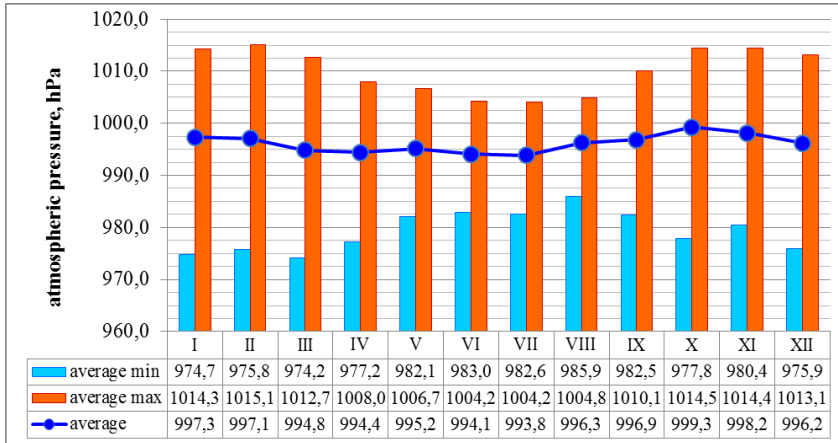
The anticyclone type of weather in terms of quantity and duration during the year is dominated by cyclone. The main trajectories of anticyclone movement in Ukraine are western, southwestern, northwestern, northern, northeastern and southeastern. Among the local processes of anticyclogenesis, the development and extension of the southeastern projection to the west of the Donetsk highlands are highlighted as well as the formation of a barrier of high atmospheric pressure in summer over the central part of the country [4, p. 92].

Spurs and protrusions with the western and eastern orientation of the axis are equally important for the formation of synoptic processes and the most wide-spread. It is mainly the periphery of the Azores and Asian anticyclones, the boundaries of their further eastern or western distribution, bearing the provisional name “Voyikov axis” [4, p. 92].

***Atmospheric pressure.*** Atmospheric pressure is one of the main characteristics of the physical state of the atmosphere. It is characterized by spatial and temporal changes that depend on climatic factors [4, p. 101].

*The annual course of atmospheric pressure.* Features of the annual course of atmospheric pressure are determined by seasonal changes in the atmosphere’s circulation. Higher pressure is observed in the cold season, lower is observed in the warm season, which is caused by the general warming of the atmosphere. In the annual course, the main maximum of atmospheric pressure is observed in October (999.3 hPa) and the secondary one in January (997.3 hPa) (Figure 1). The basic minimum atmospheric pressure is observed in July (993.8 hPa). Thus, the annual amplitude is 5.5 hPa. The highest rise in atmospheric pressure occurs from July to August and from September to October by 2.5 and 2.4 hPa. This is due to a decrease in heat input and a change in macrocirculation. The greatest fall in atmospheric pressure occurs from November to December and from February to March by 2.0 and 2.3 hPa. The second fall is explained by the end of winter and the diminishing role of circulation processes.

*Maximum atmospheric pressure.* Given the variability of the averages, the extreme values of the atmospheric pressure and their amplitude are more indicative. The annual course of maximum atmospheric pressure is similar



**Figure 1. Annual atmospheric pressure at station level, hPa\***

\* – developed by the authors according to sources [5]

to the annual course of average atmospheric pressure. The highest maximum atmospheric pressure is observed in the period from October to March and reaches values above 1014 hPa in January-February and October-November. The lowest maximum pressure is observed in the summer, 1004.2 hPa in June-July. Thus, the maximum atmospheric pressure has an amplitude of 10.9 hPa and exceeds its average values by 8.5-18.0 hPa (Figure 1).

The absolute maximum of atmospheric pressure is the highest pressure recorded during the observation period. The highest absolute maximum of atmospheric pressure is observed above 1022 hPa in January-March and the lowest in June-August. The highest absolute maximum pressure was recorded in January 2006 – 1024.1 hPa, and the lowest absolute maximum was recorded in August 2015 – 1006.0 hPa [5]. In general, the absolute maximum atmospheric pressure has an amplitude of 18.1 hPa, exceeds the average maximum values by 1.2-9.8 hPa and the average by 10.5-27.6 hPa during the month.

*Minimum atmospheric pressure.* The annual course of minimum atmospheric pressure is the opposite of the annual course of average atmospheric pressure. The highest minimum atmospheric pressure is observed in the period from May to September and reaches values above 982 hPa and in November 980.4 hPa. The

lowest minimum pressure is observed from December to March – 974-976 hPa. Thus, the minimum atmospheric pressure has an amplitude of 11.7 hPa and less than its average values of 10.4-22.6 hPa (Figure 1).

Absolute minimum atmospheric pressure is the lowest pressure recorded during the observation period. The highest absolute minimum of atmospheric pressure is observed from May to September – 973-978 hPa, and the lowest does not exceed 970 hPa from October to April. The highest absolute minimum pressure was recorded 978.2 hPa in May 2007 and the lowest absolute minimum was 956.0 hPa in October 2017 [5]. In general, the absolute minimum of atmospheric pressure has an amplitude of 22.2 hPa during the month is less than the average minimum values of 4.8-21.8 hPa and the average of 15.9-43.3 hPa.

Therefore, the maximum values of the absolute amplitude of the atmospheric pressure are characterized for the period from October to March and range from 52.5 hPa in February to 65.6 hPa in October. From April to September, the absolute pressure amplitude decreases to 28.6-35.8 hPa due to weak advection and a stable temperature regime.

*The daily course of atmospheric pressure.* Atmospheric pressure also has regular patterns in the daily course. The daily course of atmospheric pressure is characterized by the presence of two maxima and two minimum, the daily amplitude and changes in pressure between observation periods. The daily course of pressure is determined by its increase in the first half of the day (12 h) and an additional increase in the evening. The time of occurrence of the maximum and minimum pressure in the daily course is closely related to the time of sunrise and sunset [4, p. 107].

The maximum is clearly expressed throughout the year and reaches a value of about 12 hours. The secondary maximum is less clear, tends to decrease and is observed in the evening (21 hours) or night (0 or 3 hours). The basic minimum of atmospheric pressure is observed in the afternoon (15 or 18 hours), the secondary is in the morning (6 hours) (Table 2).

In the daily course, the atmospheric pressure decreases most intensively from 12 to 15 hours from 0.2 hPa in summer to 0.9 hPa in autumn. The most significant increase in pressure occurs: in the cold period from 9 to 12 hours by 0.4 hPa, in the warm period from 6 to 9 hours by 0.3-0.6 hPa. Pressure fluctuations during the day are determined by the average daily amplitude and insignificant: 0.7-1.1 hPa (Table 2).

Daily atmospheric pressure at station level, hPa\*

Period	Observations, hours								Amplitude
	0	3	6	9	12	15	18	21	
<b>Winter</b>	996.2	996.0	995.7	996.0	996.4	995.9	996.0	996.2	0.7
<b>Spring</b>	994.3	994.2	994.1	994.4	994.5	993.9	993.5	993.9	1.0
<b>Summer</b>	994.5	994.7	994.4	995.0	994.8	994.6	993.9	994.4	1.1
<b>Autumn</b>	998.1	998.0	997.9	998.2	998.6	997.7	997.7	997.8	0.9
<b>Year</b>	995.8	995.7	995.6	995.9	996.1	995.5	995.3	995.6	0.8

\* – developed by the authors according to the source [9]

**Wind.** Wind is one of the main and changing characteristics of the atmosphere. The movement of air masses is caused by the circulation of the atmosphere and is determined by the presence of bar centers, the nature of the underlying surface and the shape of the relief. The annual course of wind characteristics is determined by the seasonal displacement and intensity of the centers of action of the atmosphere, so the prevailing wind direction and velocity change during the year [4, p. 108].

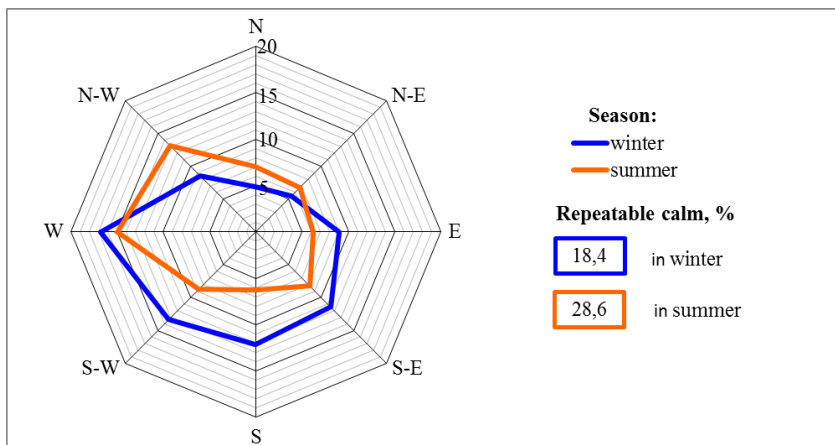
**Wind direction.** In the cold season, the distribution of wind directions over Ukraine is caused by the presence of high pressure bands formed by spurs of anticyclones from the east (Siberian) and west (Azores), so southeastern, southern, southwestern and western winds prevail.

In spring, due to the general decrease in the intensity of cyclonic circulation, the wind direction is more influenced by the local conditions, so southeastern and northeastern winds are dominant.

During the summer, the Azores anticyclone is activated, the spurs and nuclei of which spread to the territory of Ukraine, so from June to August western and northwestern winds prevail.

In autumn, the impact of the Azores anticyclone decreases, so the wind direction changes from the south and west in early autumn to southeast in the second half, which precedes the transition to winter type atmospheric circulation [4, p. 108].

However, within the study area, certain differences can be traced (Figure 2, Table 3). Thus, the prevailing winds in winter are western, southwestern and southeastern, which recur at 53.7 % of cases. Northern and northeastern winds have the lowest recurrence rates only 4.8 % and 5.5 %.



**Figure 2. Repeatability of winds by the main direction, %\***

\* – developed by the authors according to the source [6]

With the onset of summer, the wind regime changes (Figure 2). The prevailing wind directions are the western and northwestern ones – 28.1 %, again the share of calm is 28.6 %. However, the recurrence of other directions decreases significantly, especially the eastern and southern directions are 6.2 and 6.3 % (Figure 2, Table 3).

Table 3

**Repeatability of wind directions by major directions, %\***

Season	Repeatability of winds by the main direction, %								Calm, %
	North	North-East	East	South-East	South	South-West	West	North-West	
winter	4.8	5.5	9.0	11.4	12.1	13.4	16.8	8.6	18.4
spring	8.5	7.5	7.8	9.1	8.4	9.2	14.2	11.7	23.6
summer	7.1	6.8	6.2	8.2	6.3	8.7	15.0	13.1	28.6
autumn	3.9	5.5	7.5	12.3	11.0	12.4	14.6	8.3	24.5

\* – developed by the authors according to the source [6]

During the transitional periods. the atmospheric circulation changes, spring winds of different directions have more or less the same frequency. The

prevailing winds in spring as well as in summer are the western and northwestern ones, which together account for 25.9 % (Table 3), increasing the share of calm at 23.6 %. The frequency of winds in other directions is 7.5-9.2 %.

In autumn, the atmospheric circulation switches to winter type, so the distribution of wind directions has similar features to the winter one (Table 3). Thus, the prevailing wind directions are the western, southwestern, southeastern and southern, which together make up 50.3 %. The proportion of calm is reduced by 24.5 %. The northern and northeastern winds have the lowest recurrence rates – 3.9 and 5.5 %.

*Wind speed.* An important characteristic of the wind regime is the wind speed, which is determined by the bar gradient and atmospheric circulation conditions [4, p. 109]. During the year, consecutive changes in wind speed have been made. The annual average wind speed is characterized by higher speeds in the cold season from November to March: 2.2 m/s.

An important indicator of the annual wind speed is its maximum performance. So the highest values of the maximum wind speed are characterized for the period from October to April as well as in July: more than 7 m/s. The absolute maximum occurs 9.4 m/s in March (Figure 3).

The lowest values of maximum wind speed are recorded 6.3-7.0 m/s in May–June and August-September (Figure 3). Also winds with speeds of 17-18 m/s are usual for the investigated territory, although they are recorded in the native. In general, the absolute maximum of the fixed wind speed is 22-24 m/s [5; 6].

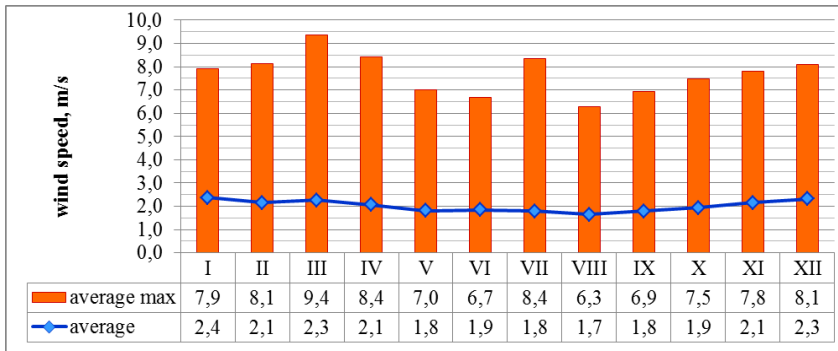


Figure 3. Annual wind speed, m/s\*

\* – developed by the authors according to sources [5; 6]

*Daily wind speed.* Wind speed is also characterized by daily flow, which depends on the intensity of turbulent exchange during the day [4, p. 109]. The daily course of the wind speed of the study area meets the general laws. Thus, the maximum values of the average wind speed at different times of the year are fixed at 15 hours and the minimum values at 3 hours or at 0 and 6 hours (Table 4).

Table 4

**Daily average wind speed, m/s\***

Season	Observations, hours								Amplitude
	0	3	6	9	12	15	18	21	
<b>Winter</b>	2.3	2.2	2.3	2.2	2.7	2.9	2.4	2.3	0.7
<b>Spring</b>	1.5	1.4	1.5	2.2	3.1	3.3	2.9	1.6	1.9
<b>Summer</b>	0.9	1.0	0.9	1.8	2.7	3.0	2.6	1.1	2.1
<b>Autumn</b>	1.8	1.6	1.7	2.0	2.6	2.9	2.1	1.8	1.3
<b>Year</b>	1.6	1.6	1.6	2.0	2.8	3.0	2.5	1.7	1.4

\* – developed by the authors according to the source [6]

The best daily course of wind speed is manifested in summer during anticyclone weather. At night and early morning, a minimum of wind speed is recorded, which increases in the day and reaches a maximum in the afternoon, then decreases slightly and approaches the minimum in the evening (Table 4). The amplitude of the average wind speed is 2.1 m/s. In the transition periods, the amplitudes are smaller: in spring it is 1.9 m/s, 1.3 m/s in autumn. In winter, the daily course of wind speed is smoothed, the amplitude is only 0.7 m/s but the course remains (Table 4).

*Local winds.* In the general circulation of the atmosphere there are two types of local winds. Their formation is caused by the influence of changes in the air currents of the general circulation of the atmosphere and the physical and geographical features of the territory but they are of limited distribution. A breeze (the White Lake, 453 ha) is observed among the local winds in the study area. It belongs to winds arising from uneven heating or cooling of adjacent areas of the underlying surface and are characterized by daily frequency and velocity. The breeze changes direction twice during the day: in the daytime it is from the lake to the land, at night it is from the land to the lake. Its occurrence is caused by the difference between the air temperature of the land and the water surface, so vertical thermal



circulation in the coastal zone is formed. The temperature contrast between the lake and the land is greater during the day, so the breeze develops more strongly. Also, the breeze creates more comfortable conditions: it lowers the temperature of the air and increases its humidity. The greatest development of the breeze reaches the summer (July-August), and in spring and autumn it noticeably weakens [4, pp. 112–113].

### 4. Thermal mode

Air temperature is one of the important meteorological values. All phenomena and processes occurring on the Earth's surface are directly conditioned by the thermal conditions of the environment. The air temperature also determines the features and weather conditions. In winter, the thermal regime is determined by the atmospheric circulation and associated air advection. In the warm period, the thermal regime depends mainly on radiation factors, along with which the underlying surface also has a significant effect [4, p. 114].

*The average monthly air temperature.* The annual course of air temperature generally coincides with the annual course of solar radiation but is slightly delayed and has slight fluctuations between the months of winter and summer and the sharp ones in autumn and spring [4, p. 115].

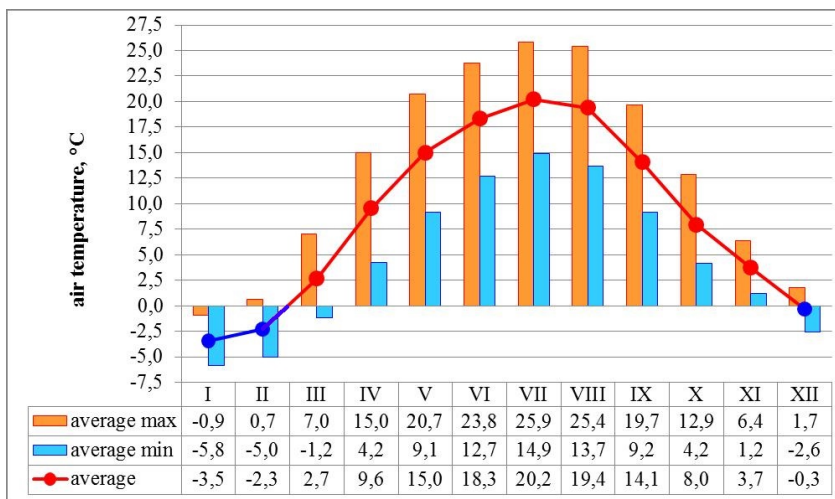
So the lowest average monthly air temperature is characteristic for winter is  $-2.0^{\circ}\text{C}$ . The minimum air temperature is observed  $-3.5^{\circ}\text{C}$  in January, in February is  $-2.3^{\circ}\text{C}$  and December is  $-0.3^{\circ}\text{C}$  (Figure 4).

Spring is characterized by a significant increase in the average monthly temperature, so in March it is already  $+2.7^{\circ}\text{C}$ , in April is  $+9.6^{\circ}\text{C}$  and in May is  $+15.0^{\circ}\text{C}$ .

The highest average monthly air temperature is characterized  $+19.3^{\circ}\text{C}$  for summer. The maximum air temperature is observed  $+20.2^{\circ}\text{C}$  in July, in June is  $+18.3^{\circ}\text{C}$  and August is  $+19.4^{\circ}\text{C}$ .

The autumn is characterized by a decrease of the average monthly temperature: September is  $+14.1^{\circ}\text{C}$ , October is  $+8.0^{\circ}\text{C}$ , and November is  $+3.7^{\circ}\text{C}$ . Accordingly, the average monthly temperature in autumn falls by  $6.1^{\circ}\text{C}$  and  $4.3^{\circ}\text{C}$  in two months (Figure 4).

The average annual air temperature of the Biloozerskyi array of Rivne Nature Reserve in 2006-2018 year was  $+8.7^{\circ}\text{C}$  with an average monthly temperature amplitude of  $23.7^{\circ}\text{C}$ .



**Figure 4. Annual course of air temperature, °C\***

\* – developed by the authors according to sources [5; 6]

*The maximum air temperature.* The maximum air temperature characterizes the hottest part of the day and is observed for about 14-15 hours. The annual course of maximum air temperature is similar to the annual course of the average monthly temperature. Therefore, the lowest values of the maximum temperature are typical for winter: from  $-0.9^{\circ}\text{C}$  in January to  $+1.7^{\circ}\text{C}$  in December (Figure 4).

The highest values of maximum air temperature are observed in summer: from  $+23.8^{\circ}\text{C}$  in June to  $+25.9^{\circ}\text{C}$  in July. In general, the maximum air temperature exceeds the average air temperature: from  $2^{\circ}\text{C}$  in December to  $6^{\circ}\text{C}$  in August.

Absolute maximum air temperature is the highest air temperature, recorded during the observation period. The highest absolute maximum of air temperature is observed in July-September and is above  $+35^{\circ}\text{C}$  [5; 6]. From April to September the absolute maximum temperature is above  $+30^{\circ}\text{C}$ . The lowest absolute maximum is characterized for January  $+11.2^{\circ}\text{C}$ . The absolute maximum air temperature amplitude is  $24.5^{\circ}\text{C}$ .

*Thaw.* Thaw day is the day when a maximum temperature above  $0^{\circ}\text{C}$  is observed against a constant negative air temperature [4, p. 133]. Thaws

are observed several times during the winter, on average 8-10 periods with thaws of different duration and intensity. There are 54 days of thaw in the studied territory in winter [1, p. 78; 5].

*The minimum air temperature.* The minimum air temperature characterizes the coolest part of the day and is observed before sunrise. The annual course of the minimum air temperature is similar to the annual course of the average monthly temperature [4, p. 138]. Therefore, the lowest values of the minimum temperature are typical for winter: from  $-2.6^{\circ}\text{C}$  in December to  $-5.8^{\circ}\text{C}$  in January (Figure 4). The highest values of the minimum air temperature are observed in summer up to  $+14.9^{\circ}\text{C}$  in July. In general, the minimum air temperature is lower than the average air temperature: from  $2,3^{\circ}\text{C}$  in December and January to  $5,9^{\circ}\text{C}$  in May (Figure 4).

Absolute minimum air temperature is the lowest air temperature recorded during the observation period. The lowest absolute minimum air temperature is observed above  $-28^{\circ}\text{C}$  in January-February. From December to March, the absolute minimum temperature is above  $-20^{\circ}\text{C}$ . The highest absolute minimum is characterized for summer, during this period it is positive and in July is  $+7.6^{\circ}\text{C}$  [5; 6]. The amplitude of the absolute minimum air temperatures is  $36.5^{\circ}\text{C}$ .

*Frosts.* Frosts are short-term reductions in air or soil temperatures up to  $0^{\circ}\text{C}$  and below with a constant positive average daily temperature. Frosts occur at night or in the morning, quiet weather when conditions contribute to the intense cooling of the earth's surface and the ground layer of air. Frosts are usually recorded in transitional seasons [4, p. 146]. At the study area, spring frosts cease to cross in the middle of the third decade on April 26. Autumn frosts appear in the first decade on October 6. The part of the year, during which frosts are not recorded is called the frost-free period. The average duration of the frost-free period in the air (at an altitude of 2 m) is 162 days [1, p. 53; 4, pp. 147–149].

*Daily course of air temperature.* The daily course of the air temperature is conditioned by the radiation balance, which depends on the height of the sun, the length of the day, the cloudiness and the transparency of the atmosphere. The daily course of air temperature is characterized by uneven changes. After sunrise and noon there is an intense increase in temperature, then the growth slows down and at 15 hours the maximum. After 15 hours a gradual decrease in air temperature begins, which reaches a minimum before sunrise [4, p. 122].

Therefore, the maximum daily temperature is fixed at 15 hours during the year, the minimum at 9 hours in the cold period and 6 hours in the warm period (Table 5). The lowest amplitude of daily temperatures is typical for winter – 2.7 °C and the highest in summer is 9.9 °C.

Table 5

**Daily course of air temperature, °C\***

Season	Observations, hours								Amplitude
	0	3	6	9	12	15	18	21	
<b>Winter</b>	-2.3	-2.7	-3.0	-3.1	-1.8	-0.4	-1.0	-1.9	2.7
<b>Spring</b>	7.3	5.8	5.0	7.3	11.4	13.2	13.0	10.1	8.2
<b>Summer</b>	16.8	15.0	14.0	18.2	22.3	23.9	23.7	20.7	9.9
<b>Autumn</b>	7.4	6.5	6.0	6.6	10.4	12.2	11.3	8.6	6.2
<b>Year</b>	7.3	6.1	5.5	7.3	10.6	12.2	11.8	9.4	6.7

\* – developed by the authors according to the source [6]

## 5. Moisture and cloudy mode

**Air humidity.** Humidity is one of the important signs of moistening the area. The humidification mode is caused by radiation factors, atmospheric circulation, features of the underlying surface. Humidity has an effect on the intensity of evaporation, the occurrence of frost, the formation of fogs, clouds and more. It is determined by the amount of water vapor in the atmosphere and is described by three values: partial pressure of water vapor, relative humidity and humidity deficiency [4, p. 158].

**Water vapor partial pressure.** The annual course of the partial pressure of water vapor changes in parallel with the course of the air temperature has a pronounced annual course and increases from winter to summer [4, p. 159]. The lowest value of the partial pressure of water vapor is recorded 3.9 hPa in January. In February and December, it is slightly higher (4.1 and 5.0 hPa). In February, the partial pressure of water vapor begins to increase, which is most intensively manifested from April to May and from May to June by 3.0 and 3.1 hPa. In May, the partial pressure of water vapor is 10.4 hPa. In July, it reaches a maximum of 15.0 hPa and begins its gradual decline. The largest decline is observed from August to September and from September to October by 3.2 hPa. In September, the partial pressure of water vapor is 11.6 hPa and in November it is 6.7 hPa [3, p. 77; 4, pp. 159–161].

The daily course of the partial pressure of water vapor is similar to the daily course of air temperature but manifests itself less clearly, especially in the cold period.

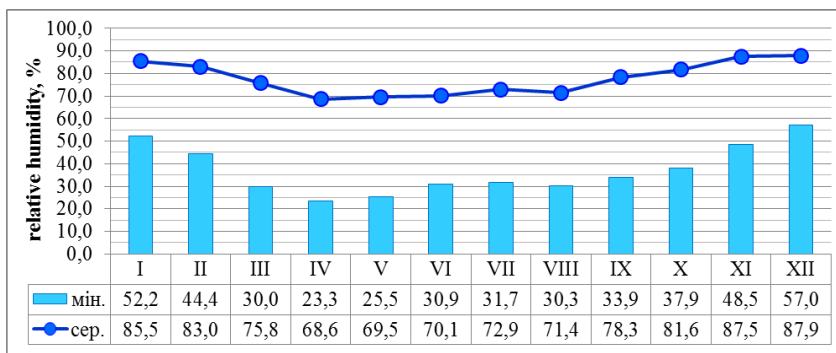
*Relative humidity.* Relative humidity is the indicator that has the greatest practical interest at the degree of saturation of air with water vapor. Relative humidity in the surface layer has a daily and annual course, the reverse of air temperature [4, p. 161]. In winter, the average monthly relative humidity reaches the highest values. The maximum (87.9 %) is recorded in December (Figure 5).

From February, the relative humidity begins to decline. In April, it reaches a minimum 68.6 % and in May it is 69.5 %. In summer months the relative humidity is quite high 70.1-72.9 % (Figure 5). In autumn, the relative humidity increases and in November is 87.5 %.

The number of days with high (80 % and more) and low (30 % and less) relative humidity has a great practical interest. The days when the humidity in the daytime (at 1 pm) reaches 80 % are humid. If at least one of the observation periods had a humidity of 30 % or less, this day is considered dry. The recurrence of wet and dry days is affected by the temperature regime and the humidity at the atmosphere [4, p. 162]. Wet days are recorded throughout the year. The highest number of such days is observed in December and the smallest in the warm period from May to September (2-5 days). Dry days (with a relative humidity of 30 % and below) are most often recorded in spring: 3 days in April, 4 days in May (Figure 5). In summer there are generally 3-5 dry days. In autumn and winter there are very few days [1, p. 67; 4, p. 162].

*Daily course of relative humidity.* As the course of relative humidity is opposite to the course of air temperature, the daily minimum relative humidity corresponds to the daily maximum of the air temperature and is observed at 15 hours, the maximum of humidity with the minimum of the air temperature and falls at the time of sunrise at 6 hours [4, p. 162]. In general, the daily course of relative humidity is best manifested in summer, when the amplitude is 39 % and the weakest in winter with an amplitude of 10.4 % (Table 6).

*Saturation deficiency.* Water vapor saturation deficiency has an annual course corresponding to the air temperature. In winter with heavy clouds, frequent rainfall and almost complete absence of evaporation, water vapor is in



**Figure 5. Annual course of relative humidity, %\***

\* – developed by the authors according to sources [5; 6]

the air with a state close to saturation [4, p. 163]. According to the annual course of air temperature, the saturation deficit in this period is 0.7-0.8 hPa. In March, the saturation deficit begins to increase to 1.5 hPa, in April and May it is 3.7 and 6.1 hPa. In summer, the water saturation deficit of water vapor increases even more and as a partial pressure of water vapor, reaches its maximum of 7.4 hPa in July. In August, the saturation deficit still retains high values is 6.1 hPa but with the onset of autumn there is a sharp decrease: 4.1 hPa in September, 2.2 hPa in October, 1.0 hPa in November [1, p. 68; 4, pp. 163–164].

**Cloudiness.** Cloud mode is formed under the influence of synoptic processes that determine the moisture content of the air masses and the direction of their movement [4, p. 164].

Table 6

**Daily course of relative humidity, %\***

Season	Observations, hours								Amplitude
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Winter	87.0	88.4	89.1	89.2	85.0	78.8	81.2	85.3	10.4
Spring	77.8	82.6	85.9	77.2	61.2	54.1	54.3	67.3	31.8
Summer	82.0	87.2	90.0	76.1	58.3	51.1	53.1	66.0	39.0
Autumn	87.5	89.1	90.3	89.1	76.9	68.2	73.9	83.6	22.1
Year	83.6	86.8	88.8	82.9	70.3	63.0	65.6	75.6	25.8

\* – developed by the authors according to the source [6]

*Annual course of clouds.* Cloudiness depends on seasonal changes at the atmosphere, so its annual course is clearly noticeable. The highest cloudiness is observed in winter at 7.8-8.3 points of total cloudiness and 4.9-6.3 points of the lower one (Figure 6). The maximum of cloudiness falls on December at 8.3 points of total cloudiness and 6.3 points of lower cloudiness. In spring the cloudiness gradually decreases. The lowest cloudiness is observed 5.0-5.8 points overall in summer and 3.0-3.6 points lower. The minimum is in August 5.0 points of general cloudiness and 3.0 points of lower cloudiness. In autumn cloudiness again increases (Figure 6).

In general, the recurrence of cloudy skies (8-10 points) with a total cloudiness in January is 75 % and in July is 45 %. Whereas the average number of cloudy days with a total cloudiness is 145 days a year while the lower one is only 85 days [4, pp. 165–168].

An important indicator of cloudiness is the fraction of lower cloudiness. The largest part is characterized 62.0-76.1 % for winter but the maximum is 78.3 % in November. In spring, the share of lower clouds in general decreases to 62.0-65.3 %. The lowest proportion of lower cloudiness in summer is 60.5-62.5% while the minimum is 60.5 % in August. In autumn, this indicator is rising again to 63.2-78.1 %. In general, the share of lower cloudiness has the same annual trend as that of cloudiness.

*Daily cloud cover:* In the daily course of general cloudiness in the warm period, the maximum falls on 15 hours and the minimum falls at night (0 and

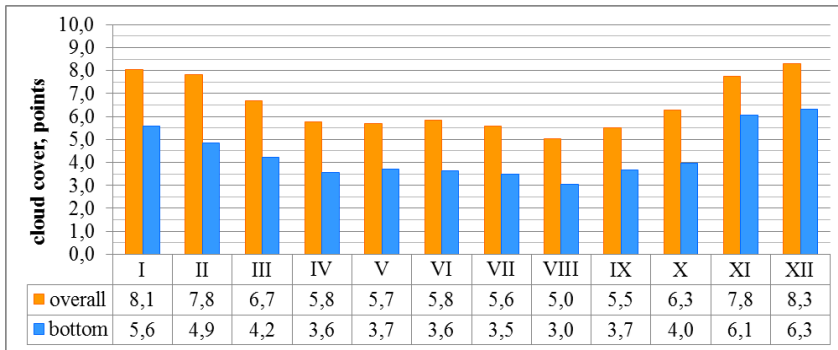


Figure 6. Annual cloud cover, points\*

\* – developed by the authors according to the source [5]

3 hours); in the cold period the maximum is observed in the morning at 9 hours, and the minimum is observed in the evening and night (18, 21 and 3 hours) (Table 7) [4, pp. 165]. In general, the daily amplitude of cloudiness in summer reaches 1.8 points and in winter is only 0.5 points (Table 7).

Table 7

**Daily general cloud cover, points\***

Season	Observations, hours								Amplitude
	0	3	6	9	12	15	18	21	
<b>Winter</b>	8.1	8.0	8.0	8.3	8.0	7.9	7.8	7.8	0.5
<b>Spring</b>	5.8	5.8	6.0	5.9	6.3	6.5	6.4	5.9	0.7
<b>Summer</b>	4.7	4.5	5.1	4.9	5.8	6.3	6.0	5.0	1.8
<b>Autumn</b>	6.6	5.7	6.5	6.8	6.7	6.8	6.5	6.6	1.1
<b>Year</b>	6.3	6.0	6.4	6.5	6.7	6.9	6.7	6.3	0.9

\* – developed by the authors according to the source [9]

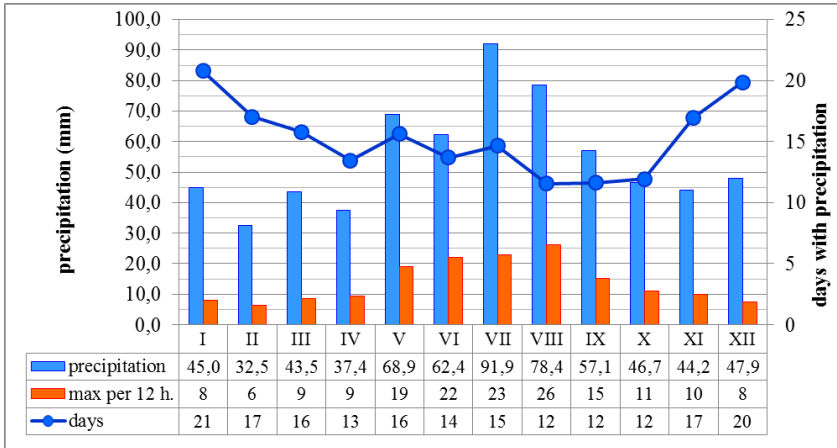
**Rainfall.** Atmospheric precipitation is one of the most important characteristics of the climate. Rainfall is associated with various forms of clouds: layered-rain, high-layered, layered, and cumulus-layered [5].

*Annual rainfall.* The amount of precipitation that has fallen on the underlying surface is determined by the thickness of the formed layer of water (mm) that has fallen out over a period of time (hour, day, month, year). The study area is located on sufficient humidity, so 656.5 mm of precipitation falls during the year and 67,6 % or 443.5 mm of precipitation during the warm period (April-October) and 32.4 % or 213 mm during the cold period (November-March) (Figure 7).

According to the date, the minimum precipitation falls 32.5 mm in February. Most of the cold season falls 47.9 mm in December. The maximum precipitation falls in the warm period in July is 91.9 mm. The lowest rainfall in the warm period occurs at the beginning and at the end of the period is 37.4 and 46.7 mm in April and October (Figure 7). There is a sharp increase in rainfall from April to May (by 31.5 mm) and from June to July (by 29.5 mm) with a further decline. The largest decrease in precipitation is observed from August to September by 21.3 mm.

A maximum rainfall reaches the maximum in summer is 22-26 mm with an absolute maximum in August is 26 mm. The lowest values of maximum





**Figure 7. Annual precipitation (mm) and days with precipitation\***

\* – developed by the authors according to sources [5; 6]

precipitation are observed in winter is 6-8 mm of precipitation in 12 hours (Figure 7). So the maximum annual rainfall for 12 hours coincides with the annual rainfall.

The characteristic feature of the weather is the recurrence of rainfall as more than 180 days are observed annually with rainfall with a layer exceeding 0.1 mm. Therefore, the highest number of days with precipitation during the month is recorded 17-21 days in winter and the smallest from August to October is 12 days. Other months the number of days with precipitation is 13-17 days [5].

**Snow cover.** In winter, snow cover has a significant impact on the climate formation of the territory. Snow cover has high reflectivity (albedo), sharply reduces radiation balance, promotes cooling of lower air layers and formation of stable anticyclones, increasing of wind speed [4, p. 191]. Permanent snow cover at the study area is set at the end of December. With the increase in air temperature, the destruction of the stable snow cover begins in early March. Persistent snow cover is typically stored for 60-70 days. However, the longest snow cover was from December 2012 to April 2013 – 124 days and the lowest was in winter 2014-2015 – only 37 days [5; 6].

The height of the snow cover is variable. Thus, from the moment of its appearance in November, it gradually increases to February from 1.5 to

8.5 cm. The maximum height of snow cover during the same period varies from 3 to 15 cm. In March, the height of the snow cover halves: average to 4 cm and maximum up to 7 cm (Table 8).

Table 8

**Characteristics of snow cover\***

Indicators	Months				
	November	December	January	February	March
Height of snow cover, cm Average	1.5	4.7	6.9	8.5	4.0
The maximum	3.0	9.0	1.,0	15.0	7.0
Number of days of snow cover	4	14	21	20	12

\* – developed by the authors according to the source [5; 6]

## 6. Conclusions

The radiation regime of the study area is determined by the position of the Sun on the sky and the time of sunrise and sunset. During the year, the length of day varies from 7.5 hours, in December to 16.5 hours, in June and the height of the Sun above the horizon from 15° in December to 62° in June.

The average duration of the sunshine is 1860, including 1529 hours in the warm period.

The radiation balance of the territory during the year is positive and amounts to 1275 MJ/m<sup>2</sup>.

The average indicator for the year is 63 % of days with anticyclones and 37 % with cyclones. Anticyclones generally move from the west, south and northwest, north, southeast, cyclones move from the west, south and northwest.

During the year, the amplitude of atmospheric pressure is observed in the study area within 5.5 hPa with an average value of 996.1 hPa. Changes in atmospheric pressure during the day are less significant, but during the warm period the amplitudes are larger and amount to 1.0-1.1 hPa.

In the cold season winds are dominated by west, southwest, southeast and southeast winds and in the warm west, northwest, southeast and southeast winds, a high proportion of calm is 18.4 % and 28.6 %.

The average wind speed during the year is 2.0 m/s with an amplitude of 0.7 m/s. The maximum wind speed is 2.4 m/s in January and the minimum is 1.7 m/s in August.

The daily course of wind speed is best followed by summer when the amplitude is 2.1 m/s and maximum values of the average speed are fixed at 15 hours and the minimum values of the average speed are fixed at night.

The average annual air temperature is +8.7°C with a maximum in July and a minimum is -3.5°C in January.

The daily course of the air temperature is best manifested in the warm period and is characterized by an intense increase of temperature after sunrise and by noon with a maximum at 15 hours and a further gradual decrease with a minimum before sunrise.

The average relative humidity of the study area is 77.7 %, the maximum falls 87.9 % in December and the minimum is 68.6 % in April.

The average annual cloudiness of the territory is 6.5 points total and 4.3 points lower. The highest clouds are observed in December and the lowest in August.

The area is at the zone of sufficient humidity, so the amount of precipitation is 656.5 mm: in the warm period is 443.5 mm, in the cold period is 213 mm. The highest rainfall occurs in July is 91.9 mm and the minimum is 32.5 mm in February.

### References:

1. Adamenko, T.I., Kulbida, M.I., & Prokopenko, A.L. (Eds.). (2011). *Ahroklimatychnyi dovidnyk po terytorii Ukrainy (seredni oblasni pokaznyky 1986-2005 rr.) [Agroclimatic Directory on the Territory of Ukraine (Average Regional Indicators 1986-2005)]*. Kamianets-Podilskyi: PP Halahodza R.S. (in Ukrainian)
2. Voloshynova, N.O., & Horbach, A.O. (2009). Klimatychni osoblyvosti Rivnenskoho pryrodnoho zapovidnyka za 2000-2008 rr. [Climatic features of the Rivne Nature Reserve for 2000-2008]. *Zberzhennia ta vidtvorennia bioriznomanittia pryrodno-zapovidnykh terytorii. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoj 10-richchiu Rivnenskoho pryrodnoho zapovidnyka*, 755–759. (in Ukrainian)
3. Zuzuk, F.V., Netrobchuk, I.M., & Hanushchak M.M. (2014). Klimat [Climat]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia, prylehloho do Khotyoslavskoho karieru Bilorusi: monohrafiia – Nature of Western Polissia, adherent to Khotyoslavsky quarry of Belarus: monohrafiia*, 66–90. (in Ukrainian)
4. Lipinskyi, V.M., Diachuk, V.A., & Babichenko, V.M. (Eds.). (2003). *Klimat Ukrainy [The climate of Ukraine]*. Kyiv: Vydavnytstvo Raievskoho. (in Ukrainian)

5. Sait «Pogoda i klimat» [Site «Weather and Climate»]. Retrieved from: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (in Russian)

6. Sait «Rozklad pohody rp5.ua» [Site «Weather schedule rp5.ua»]. Retrieved from: [http://rp5.ua/Arkhiv\\_pohody/](http://rp5.ua/Arkhiv_pohody/) (in Ukrainian)

7. Tarasiuk, N.A., & Tarasiuk, F.P. (2008). Atmosferna tsyrkuliatsiia ta dynamika vitrovoho y termichnoho rezhymiv na terytorii pivnichnoho skhodu Volynskoho Polissia [Atmospheric circulation and dynamics of wind and thermal regimes in the north-east of Volyn Polissya]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylehlykh terytorii: zb. nauk. pr. – Nature of Western Polissia and surrounding territories: a collection of scientific works*, 13–23. (in Ukrainian)

8. Tarasiuk, F.P., & Tarasiuk, N.A. (2014). Klimat mista Sarny ta prylehlykh terytorii [The climate of the city of Sarny and surrounding areas]. *Pryroda Polissia: doslidzhennia ta okhorona. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoj 15-richchiu Rivnenskoho pryrodnoho zapovidnyka ta 10-richchiu Ramsarskoho uhiddia «Torfovo-bolotnyi masyv Perebrody»*, 237–246. (in Ukrainian)

## CHAPTER «PHYSICAL EDUCATION AND SPORT»

### STRUCTURE AND LEVEL OF PROFESSIONAL AND APPLIED AWARENESS OF STUDENTS STUDYING ON AGRICULTURAL SPECIALITIES

Anna Sakhnenko<sup>1</sup>

Serhii Lazorenko<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-47>

**Abstract.** In the modern educational space, professional physical training is interpreted as a necessary prerequisite and at the same time as a means of FC forming of a future specialist in a particular industry. Thus, the latest stage of physical education development is characterized by the integration of socio-philosophical, medical-biological and psychological-pedagogical areas of specialists' professional and applied physical training, substantiated in the previous years' research. In this context, students' professional and applied physical training is considered by modern scientists as a process of professional physical culture formation of the future specialist in the mastering course of educational, upbringing and developmental values. This is evidenced by numerous foreign and domestic scientists' studies on students' PFP of various specialties and specializations.

The today realities, the intensive renewal of the socio-economic, scientific and technical sphere and the society spiritual life causes an increase in the requirements for the student youth capacity, who are called taking an active part in this process initiating and organizing. Modern conditions of higher education (hereinafter higher educational institutions) of Ukraine are characterized by intensification and professional orientation, the process of reforming higher education, in accordance with the European educational space requirements, aimed primarily at improving the educational quality of

<sup>1</sup> Postgraduate Student,

Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Ukraine

<sup>2</sup> PhD in Physical Education and Sport, Associate Professor,

Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Ukraine

future professionals capable for hard long-term work. One of the essential integration attributes into the European educational space is the renewal of the educational content.

Recently, scientists have been intensively developing methods for quantitative and qualitative assessment of the highest subsystem of the human personality structure, its worldviews of socio-psychological orientation. This area is very important for the selection of training tools and methods of future specialists of the agro-industrial complex and vocational training as its component. In this regard, research in this area is of particular importance and needs further development.

The structure of students professionally applied physical training of higher educational institutions is considered in the presented article. The professional and applied awareness level of student youth of agricultural specialties is investigated. It is established that the theoretical component of professional and applied physical training significantly influences the system formation of students' theoretical and practical knowledge, necessary for future specialists of the agro-industrial complex in professional activity and life.

The study of the professional and applied physical awareness level was attended by students aged 18-20 years I-III courses of agricultural specialties of Sumy National Agrarian University (n = 652), Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture (n = 431) and Hlukhiv Agrotechnical Institute named after S.A. Kovpak (n = 108) in the total number of 1201 people.

The questionnaire contained five questions blocks grouped by the common theme.

The personal data analysis allowed to state the insufficient knowledge level of future specialists of the agro-industrial complex in the physical culture, sports, healthy lifestyle and professional-applied physical training sphere.

According to the quantitative assessments results of the answers to the five questions blocks, the authors determined the level below average in 6.4% of students, characterized by meaningful answers to the two questions blocks, or answers with shortcomings and errors to 3-4 questions blocks out of five. 93.6% of respondents answered one question of the five blocks, or could not formulate definitions and give clear meaningful answers to most questions of each block. Their professional and applied physical awareness level is defined as low.

### 1. Introduction

At the present stage of its development, the industry of our country feels the need for educated, highly qualified professionals with fundamental knowledge, professional skills and abilities, experience in creatively solving new pressing problems and the ability to realize skills in various fields of professional activity. In this context, professional physical training may be interpreted as a necessary prerequisite and at the same time as a means of forming the physical culture of future agro-industrial complex specialist. Thus, the newest phase of physical education development is characterized by the integration of socio-philosophical, medical-biological and psychological-pedagogical areas of professional and applied physical training of specialists. All these areas were substantiated in the research of previous years. Modern scientists considers student's professional and applied physical training as a formation process of professional physical culture of the future specialist in a process of learning a set of educational, upbringing and developmental values. This is confirmed by numerous studies of foreign and domestic scientists on vocational training of students studying on various specialties and specializations.

One of the main components in Ukraine economy is the agro-industrial complex, which combines the production of agricultural products, agricultural processing and logistics support services [26].

However, the agricultural industry of our country acutely needs qualified specialists. One of the main reasons for this problem is the low level of professional and applied physical preparedness of graduates of agricultural higher educational institutions [25].

According to experts, a significant number of modern graduates of higher education institutions are physically unable to meet the modern requirements of the labor market [23–24]. In this context, the physical education system, and especially its professional and applied component, is considered to be essential for future specialists' training in higher education.

### 2. The main tasks of physical education

Consider the definition of the notion of “physical education system”.

The physical education system is a historically determined type of physical education social practice including teleological, scientific-methodical, program-normative and organizational elements (bases), that provide physical education of citizens.

Therefore, physical education is an integral part the overall education of students in Ukraine. The goal of physical education in higher education establishments of our country is assisting in the preparation of comprehensively developed and highly qualified specialists.

In view of the above, physical education is faced with the following tasks:

- strengthening the health and ensuring high mental and physical productivity based on ensuring the full development of physical abilities;
- mastering special knowledge;
- creating the need of systematic physical exercises using of various rational forms;
- ensuring a sufficient level of general physical fitness in accordance with the norms and standards that meet the mandatory program of the higher education establishments;
- achieving the appropriate level of necessary physical preparedness in accordance with the requirements of the chosen profession;
- mastering the organizational foundations and methodology for applying of the most effective types of motor activity;
- basic knowledge of rehabilitation methods and physical improvement using traditional and innovative means and methods of physical culture;
- systematic physical training aiming at health improvement or athletic performance;
- mastering organizational skills and abilities to carry out independent forms of physical education [14].

Preserving and strengthening the student youth's health, creating the need for physical improvement and a healthy lifestyle is one of the main tasks of physical education. The principle of organic connection of physical education to the practice of labor activity is most specifically embodied in professional and applied physical training.

As a general, the tasks of professionally-oriented physical training can be formulated as follows:

- purposeful development of physical abilities which are specific to the chosen professional activity;
- development of mental qualities, which are important for a certain professional activity (strong will, operational thinking, attention, emotional stability, speed of perception, etc.);



- formation and improvement of professional and applied skills and abilities related to special external conditions of future work, sensory skills;
- increasing the functional resistance of the organism to the adverse effects of factors of specific working conditions (hypokinesia, high and low temperature and ambient temperature fluctuations, neuropathia, the damage from the toxic substances, etc.);
- acquisition of knowledge which are necessary for future specialists to successful master the practical section of Professional and Applied Physical Training (hereinafter the “PAPT”), and application of the acquired abilities, skills and qualities in the further professional activity.

Tasks listed above should be specified taking into account features of the chosen profession. The implementation of the tasks of PAPT should provide the necessary level of professional and applied physical preparedness for the chosen profession.

Physical education in the system of higher education should be based on new teaching technologies, which will ensure the professional physical and psychophysiological readiness of students to perform professional duties.

### **3. Peculiarities of professional and applied physical training of future agro-industrial complex specialist**

To ensure optimal planning of physical education classes for students studying on agricultural specialities, it is necessary to take into account the requirements for their future activities, because, as V. Levkiv and O. Ostapova emphasize, “the content of professional and applied physical training of students should reflect not a strategic directions, organization and learning environment of students in higher education establishments, but rather features of students’ future professional activity « [10; 18].

The scientist S. Zaskalieta believes the requirements for the system of professional training of agricultural sector specialists to be greatly influenced by the factors that govern the development of agriculture industry and its sectors. Among others, the scientist singles out the following [9]:

- world trade rules;
- development of European Union agricultural policy;
- productivity development and technical development;
- socio-economic expectations of farms;
- environmental policy development.

S. Zaskalieta believes “ensuring the effective functioning of the agricultural sector of the economy” [9, p. 28–29] to be the main task facing the system of professional training of agricultural sector specialists, so, as the researcher notes, there is a need to train competent professionals who can act in mixed social economic environment. According to the researcher, this factor has resulted in the rapid quantitative growth of higher education establishments and the need to expand and reform the system of professional training of agricultural sector specialists. However, the new socio-economic conditions are making adjustments. There is an urgent need to increase the defence capacity of student youth involved in training in all areas of activity in Ukraine.

At the same time, Ye. Prasolov, V. Dudnyk and S. Bielovol note that the professional training of future agro-industrial complex specialist should take into account the innovative economy conditions, because “higher agricultural education faces the task of significantly improving the quality of future professionals’ training, in other words, it must to prepare young people for active life in a democratic society, to form the basis for their professional career and individual development, to intensify the mobility of students [21].

Scientist Yu. Ovsienko [17] notes that most students studying on agricultural specialities trust the advice of parents in choosing profession, without detailed information about further professional activity’s features. At the same time, the researcher emphasizes that for the agricultural higher educational establishments the issue of implementation of modern training methods and forms is relevant and complex, as this industry is in a state of search and reform.

S. Amelina [1] in her dissertation research has proved the fact that the culture of professional communication is one of the most important components of the agrarian specialists’ professional culture, which ensures their competitiveness in the current and future labor market, allows to solve production problems, drawing on ability to communicate and collaborate with different people.

Researcher O. Ilkiv [12] focuses on the formation of information culture of students studying on agricultural specialities. The researcher considers the widespread use of computer technology in the pedagogical process of higher education institutions to be an important prerequisite for an

innovative approach to the professional activities of future agro-industrial complex specialist.

Thus, according to the authors, it reinforces the need to review the process of organizing the physical education of students to prevent the consequences of long-term work on the computer.

V. Molochenko notes that it is important for training of future agro-industrial complex specialists to form readiness to work in a team, to partner in professional activities, which has a collective character and can be productive only if the different workers will cooperate [4, p. 16].

In this regard, the development of readiness of students studying on agricultural specialities to professionally oriented partnership, as the researcher emphasizes, should become one of the priority tasks of their vocational training. Using of cooperative forms of educational activities during classes, according to the scientist, can contribute to the formation of students' professional activities skills, which are important for future of partnership:

- ability to organize the functioning of the group: unification, target-setting, establishment of norms of interaction, compliance with the sequence of actions;

- ability to effectively perform group tasks: raising issues, division of responsibilities, action planning, delegation of authority, performing their part of the work, managing joint work, stimulation for other group members, managing or subordinating depending on the task; expression of support, constructive criticism;

- ability to effectively exchange information: establishing a constructive dialogue, expressing their views to partners during interaction, seeking clarification, clarification and generalization of information, maintaining group memory, checking the understanding, reasoned persuasion of colleagues in the correctness of the proposed solutions;

- ability to regulate interpersonal relationships: tolerant attitude towards partners, acknowledging their mistakes, acceptance of the views of others, control of personal emotions, helping colleagues, managing their emotions, prevention and constructive conflict resolution;

- reflective skills: group analysis and evaluation of the achievement of goals, identifying problems of group activities, correction of ineffective methods of interaction, stimulating the activity of individual members and the group as a whole [5–8; 16].

In the scientific researches of Z. Burkovska attention is drawn to the fact that the acquired professional values play a vital role in the activities of the agro-industrial complex specialist. The researcher draws attention to the fact that a graduate of a higher agricultural education institution must know the history and culture of their people, the history of the world and Ukrainian economy, history of agriculture industry, rules of the market economy and mechanisms for their implementation, the history of world and domestic political thought, the contribution of Ukrainian farmers to world agricultural science and practice, fundamentals of the Ukrainian legislation on agricultural entrepreneurship and the environment, legal and economic aspects of agricultural enterprises, names of Ukrainian agrarian scientists and practitioners. They must be responsible, treat their native land with love, adhere to an honest partnership in business, be fluent in the state language, take an active role in public life and be a patriot, have the skills of organizational work in an agricultural enterprise [3].

As can be seen, the physical education system plays a leading role in maintaining health, education of professionally important physical qualities and skills of future specialists. Therefore, it is important for agricultural higher educational institutions to find ways to solve a number of problems, which will determine the training level of future agro-industrial complex specialist.

The professional orientation of agricultural higher education results in a need to pay special attention to the development of future specialist's professional qualities and professional education in the process of forming personality [22].

The physical education curriculum emphasizes that one of the main criteria for the effectiveness of graduates physical education is knowledge of the basics of professional and applied physical training in the chosen specialties and the ability to apply them in practice [2].

Students' professional training should be aimed primarily at mastering a certain amount of theoretical knowledge, practical skills, maintaining the necessary state of health, as well as at the purposeful development of professional performance associated with the sufficient development of physical and psychophysiological qualities [27]. Scientific works of V. Ilinich, Yu. Pozdniakova, M. Khoma, N. Storchevoi were dedicated to the peculiarities of professional and applied physical training of agrarian

higher educational establishments students. In their scientific works, N. Bezghodova, N. Bibik, V. Vvedenskyi, T. Horokhovska, M. Lisovyi, V. Momot, A. Khutorskyi deremined the criteria and analyzed the formation levels of indicators of professional and applied physical training of higher educational institutions students.

Ya. Zorii interprets professional and applied physical training as a complex process of purposeful pedagogical influence on physical, mental, psychophysiological and morphofunctional indicators of organism development, which makes professional knowledge and skills of future specialists turn into parameters of their readiness to perform professional duties [11].

B. Semeniv distinguishes two blocks of content of professionally oriented physical training of Food Technology Faculty students – physical education (theoretical block) and professional and applied physical training (practical block) [27].

M. Bozhyk considers the level of teachers' professional and applied methodical readiness to be an efficiency criterion of the methodical component of their professional and applied physical training system [2].

R. T. Raievskyi considers methodical, practical and theoretical training to be a structural components of PAPT of Electrical Power Faculties students. He highlights the following tasks of theoretical training:

- to motivate students to implement PAPT during their studies at the university and in extracurricular activities;
- further mastering the system of knowledge necessary for the practical implementation of individual PAPT for selected professional activity in the energy sector at the stage of university education [24].

Professionally oriented direction of physical education creates the prerequisites for successful mastering the professional skills and practical knowledge, achieving the appropriate level of physical and functional preparedness of the student, helps to reduce the period of adaptation to working conditions and extends the professional longevity of the future agro-industrial complex specialist [20]. Scientists note that using expert's basic professional model as a foundation, the professional and applied physical training program of the future specialist is developed which includes means and methods of teaching, estimation methods of physical, psychological and psychophysiological qualities of the person, professional reliability parameters, physical health and the forecast of professional longevity [15].

In addition to development level of professionally important physical qualities and physical health, the cognitive component of professional and applied physical training plays a vital role for specialist training, that provides the formation of a system of general theoretical, methodological and professional and applied knowledge for further use in professional activities and everyday life. Despite the significant amount of modern research on professional and applied physical training of higher educational institutions students [13; 19; 27–29], it should be stated that in the scientific literature there are no any works presenting an level analysis of professional and applied awareness of Ukrainian students studying on agricultural specialities.

#### 4. The organization and methods of research

The purpose of this research was to determine the level of professional and applied awareness of students studying on agricultural specialities.

**Research methods:** theoretical analysis of literature sources, survey, mathematical statistics methods.

The study involved the 1st – 3rd year students studying on agricultural specialities of Sumy National Agrarian University (652 students), Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko (431 students) and Hlukhiv agrotechnical institute named after S. Kovpak (108 students), with total number of 1201 students.

The authors conducted a survey to determine the level of professional and applied awareness of agrarian students. The questionnaire contained 5 blocks of questions grouped according to the following characteristics:

1. General-theoretical – testing the level of knowledge on physical qualities and concepts of “physical culture”, “physical education”, knowledge of self-control methods.

2. Methodical – testing the level of knowledge on the methods of physical qualities development.

3. Axiological – testing the level of knowledge on recreational activities and individual exercise; conditions and reasons motivating motor activity.

4. Prognostic – testing the level of knowledge on the importance of physical education for future self-realization of the specialist in the chosen specialty, students’ ideas of ways to optimize the system of physical education in agrarian higher education institution.

## Chapter «Physical education and sport»

5. Professional-applied – testing the level of knowledge on the concept of “professional and applied physical training”, professionally important physical qualities, basic safety rules and medical first aid in the chosen professional activity.

The survey results were processed based on quantitative and qualitative assessments of the answers. Quantitative assessment involves evaluating the questionnaire responses on a scale. The student’s knowledge levels tested in each block were evaluated on a scale of 0 to 2. The score of 0 points indicates to an unsatisfactory level and means the students answered “I do not know” and “have no idea” to the questions of this block; the score of 1 point corresponds to a satisfactory level and student was given a score of 1 for incomplete or vaguely formulated answers, in other words, it means the student answered “I do not know” and “I have no idea” to more than half of the questions of the block; the score of 2 points indicates to a sufficient level and such score was given for meaningful answers to all questions in one block.

The level of professional and applied awareness of future agro-industrial complex specialist was evaluated by the sum of the number of points obtained in each block of questions. The obtained number of points is correlated with a qualitative assessment, which reflects the appropriate level of professional and applied awareness and assumes the certain level of theoretical knowledge and ideas (Table 1).

Table 1

### Quantitative and qualitative assessment of professional and applied awareness level of students studying on agricultural specialities

The number of points	Knowledge level	Professional and applied awareness level
9-10	High level of theoretical knowledge, meaningful answers to all questions of each of the five blocks	high level
7-8	Sufficient level of theoretical knowledge, meaningful answers to the questions of the four blocks	above average
5-6	Average level of theoretical knowledge, meaningful answers to the questions of the three blocks	average
3-4	Satisfactory level of theoretical knowledge, meaningful answers to the questions of the two blocks	below average
0-2	Unsatisfactory level of theoretical knowledge, difficulties with answering questions of at least 4 blocks	low level

### 5. Level of general theoretical knowledge

The analysis of the responses to the survey questionnaire allows to make a conclusion about future agrarians' awareness level regarding methods of self-control in physical education. Responding to the questions, 36.8% of students had no difficulties, 13.6% of them were able to name two or more methods. Methods most often mentioned were as follows: measurement of heart rate, blood pressure, body temperature. It should be noted that 22.7% of respondents could not measure their own heart rate.

46.8% of surveyed students indicated that they have bad habits. It should be noted that more than half of them – 73.4% – were young men. 55.6% of students consider their health to be satisfactory, 12.3% consider it to be good, and 32.1% consider their health to be unsatisfactory. 32.7% of respondents have chronic diseases, among which the most common were diseases of cardiovascular system, digestive system and musculoskeletal system. It is important to note that the number of days missed by students in the academic year due to illness ranges from 5 to 21. Responding to the question, respondents noted that they continued to attend classes even being sick.

Students had significant difficulties responding to the questions regarding the notion of physical qualities (“strength is ...”, “coordination abilities is ...”, etc.), methods of their development and notions of “physical culture” and “physical education”. 53.1% of students associate physical culture with sports; 13.6% – with physical exercises; 9.7% defined physical culture as the general culture of humankind; 23.6% of respondents could not answer to this question.

47.4% of respondents defined the notion of “physical education” as a set of exercises being taught in practical classes; 21.8% of respondents consider physical education to be the education of students during classes; 19.1% students associate physical education with physical culture or its variety; 11.7% of respondents had difficulties responding to this question.

The answers to the questions regarding the definition of physical qualities varied. Authors have noticed the following definitions to be most common among the answers of respondents:

– strength is: «the ability to lift weights», «the ability to perform heavy work», «the ability to carry loads over long distances», «the ability to perform strength exercises»;

– endurance is «the ability to run over long distances «, «the ability to work for a long time», etc.;



## Chapter «Physical education and sport»

– dexterity is: «ability to perform complex work», «ability to react quickly», «ability to act in different situations», «ability to carry small objects», etc.;

– flexibility is: «ability to bend», «ability to stretch muscles», «ability to perform gymnastic exercises», etc;

– speed is: «ability to run fast», «ability to run over short distances», «ability to do work quickly», etc;

– coordination is: «orientation in space», «ability to react quickly», «ability to keep balance», etc.

Having analyzed the answers to the questions of the general theoretical block, it is possible to make a conclusions about the level of students' awareness on this indicator. 93.8% of surveyed students could not answer the questions of this block and the received responses were awarded a score of 0; formulating the definition in their own words 6.2% of respondents could not define the content of notion, and such responses were awarded a score of 1.

### 6. Level of methodological knowledge

The answers to the methodological questions significantly varied and were not clearly formulated. There have been recorded the following answers to questions about the development methods of physical qualities (Table 2).

Table 2

#### Agrarian students' understanding of development methods of physical qualities

Physical qualities	Development method
Strength	to lift weights, to do pull-ups', muscles pumping, to run, etc.
Endurance	to work a lot, to train a lot, to go to the gym, a lot of running, etc.
Dexterity	to train, to practice, etc.
Flexibility	to perform stretching exercises, to bend over, to touch feet without bending the knees, to train, to do gymnastics, etc.
Speed	to run a lot, to run over a short distance (spring), to train, to take part in competitions, etc.
Coordination	to learn to keep balance on one leg, to perform complex exercises, to play sports, etc ...

Summarizing the above-mentioned, it should be state that 87.4% of respondents had difficulty in answering the questions of the methodological block; 10.8% of respondents could not give a complete and meaningful answers regarding the development methods of physical qualities; 1.8% of students gave only general answers, without specifying the features of the methodology and intensity of physical efforts. Having made a quantitative evaluation of the obtained responses, it is possibly to state that 87.4% of students received a score of 0 points; answers of 12.6% of students were awarded a score of 1.

### **7. Peculiarities of motivating students**

The importance of recreational activities to strengthen and maintain health and prevent mental overload is understood by 35.7% of future agro-industrial complex specialist: 9.6% of students go in for tourism and hiking; 8.8% like cycling and walking; 17.3% prefer sports and outdoors games. 31.9% of students lack for free time for active recreation; 32.4% of respondents do not want to engages in physical activity in their free time.

Determining the conditions motivating students to engage in physical culture, it have been obtained the following results (Table 3).

Table 3

**Conditions motivating agrarian students to engage in physical culture**

<b>Conditions</b>	<b>Year</b>		
	<b>1<sup>st</sup></b>	<b>2<sup>nd</sup></b>	<b>3<sup>rd</sup></b>
A desire to do physical exercise	38,4%	29,3%	27,6%
The use of the newest means, methods and techniques in physical education classes	13,1%	19,7%	26,1%
A good coach, teacher, instructor	10,6%	7,8%	4,3%
The availability of time	7,9%	10,8%	16,1%
Health and well-being	8,1%	11,1%	12,6%
Availability of fitness equipment and conditions	10,9%	12,4%	4,8%
Other factors	4,7%	3,2%	4,1%
It is difficult to answer	6,3%	5,7%	4,4%

As can be seen, 38.4% of 1<sup>st</sup> year students believe desire to do physical exercise to be the main reason to engage in physical culture. 29.3% of 2<sup>nd</sup> and 27.6% of 3<sup>rd</sup> year students also indicated this condition to engage in physical. 13.1% of 1<sup>st</sup>, 19.7% of 2<sup>nd</sup> and 26.1% of 3<sup>rd</sup> year students noted the

importance of using the newest means, methods and techniques in physical education classes. And in the absence of a good coach, instructor, teacher, 10.6%, 7.8% and 4.3% of first, second and third year students do not want to do physical exercises. The largest percentage of respondents lacking the time was found among 3<sup>rd</sup> year students; 10.8% among 2<sup>nd</sup> year and 7.9% among 1st year students. The average percentage of respondents considering the health and well-being as the main condition for physical training varies between 8-12%. Availability of fitness equipment and conditions was indicated as important condition by 10.9% of 1st year, 12.4% of 2<sup>nd</sup> year and 4.8% of 3<sup>rd</sup> year students, respectively.

### **8. Students' understanding regarding the organization of physical education process**

According to the results of the survey in the axiological block of questions it has been determined quantitative assessments of surveyed students' knowledge on this indicator: 0 points – 82.1%; 1 point – 13.3%; 2 points – 4.6%.

When choosing forms of physical education classes, 18.1% of respondents preferred practical classes; 13.9% of students chose sectional classes as a priority form; lectures were chosen by 2.3% of students. 65.7% of respondents had difficulty in answering the questions.

Analysis of the answers allows to state that 83.4% of surveyed students are not satisfied with the conditions in which physical education classes are held: 28.7% of future agrarian specialists consider a clean and well-lit gym to be the main condition for physical education classes; 16.4% of students would like to take physical exercise outdoors; 38.3% of respondents would like to train in a gym with good fitness equipment. 1.3% of students are quite satisfied with the conditions for classes; 15.3% of respondents had difficulties in answering this question. It should be noted that, in the view of the students, the priority ways to optimize the process of physical education in agricultural universities are follows:

- changes in the curriculum content (23.2%);
- changes in forms of physical education classes (9.4%);
- changes in technical equipment and training conditions (16.9%).

50.5% of the surveyed students could not answer the question.

Quantitative assessment of students' answers to the questions of the prognostic block is as follows: 0 points – 72.6%; 1 point – 25.8%; 2 points – 1.6%.

**9. Analysis of the responses to questions  
of professional and applied block**

The data obtained as a result of the analysis of the answers to the questions of professional-applied block demonstrates that most students of 1st – 3rd year have little understanding regarding the content and essence of professional and applied physical training in general and its features for agricultural specialties’. Students’ understanding of the concept of “professional and applied physical training” are presented in Table 4.

Table 4

**Agrarian students’ understanding of the concept  
of “professional and applied physical training”**

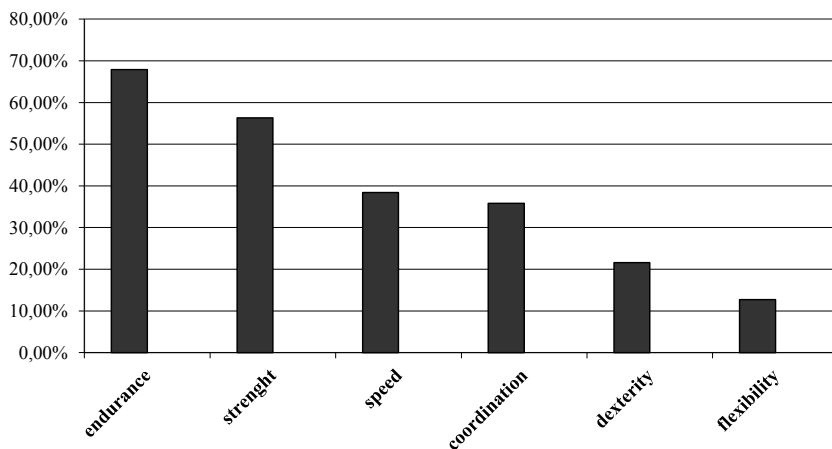
<b>Understanding of “professional and applied physical training” as:</b>	<b>Year</b>		
	<b>1<sup>st</sup></b>	<b>2<sup>nd</sup></b>	<b>3<sup>rd</sup></b>
education process	0,6%	1,3%	2,6%
a complex of physical exercises and activities aimed at better mastering the future profession	5,6%	9,8%	14,6%
a set of physical qualities of the future agro-industrial complex specialist	7,9%	5,8%	9,1%
an amount of theoretical knowledge important for the chosen profession	8,1%	9,3%	13,7%
a focused use of physical education methods to prepare future professionals for the peculiarities of professional activity	0,9%	9,1%	4,3%
Other understanding	5,6%	1,2%	5,9%
It is difficult to answer	71,3%	63,5%	49,8%

0.6% of 1<sup>st</sup> year students, 1.3% of 2<sup>nd</sup> year students, and 2.6% of 3<sup>rd</sup> year students consider PAPT (Professional and Applied Physical Training) to be an educational process. Number of respondents, which believe professional and applied physical training to be associated with a set of physical exercises and activities aimed at better mastering the future profession, ranges from 5 to 14%. 7.9% of surveyed 1st year students, 5.8% of 2<sup>nd</sup> year, and 9.1% of 3<sup>rd</sup> year students believe PAPT to be a set of physical qualities of the future agro-industrial complex specialist. About 9% of 1<sup>st</sup> year and 2<sup>nd</sup> year students answered that professional and applied physical training is an amount of theoretical knowledge important

for the chosen profession. 13.7% of 3<sup>rd</sup> year students consider PAPT to be a theoretical training for a future specialist. 0.9% of 1<sup>st</sup> year students, 9.1% of 2<sup>nd</sup> year students and 4.3% of 3<sup>rd</sup> year students preferred the idea of professional and applied physical training as a focused use of physical education methods to prepare future professionals for the peculiarities of professional activity.

It should be noted that the number of students which had difficulty in answering the questions was more than 50% of the surveyed participants. Undoubtedly, the obtained results are an indicator of the low awareness level of majority of students about professional and applied physical training. On the positive side, the number of students having difficulty in answering the questions has almost halved from the 1<sup>st</sup> year to the 3<sup>rd</sup> year.

The 1<sup>st</sup>–3<sup>rd</sup> year students have identified the professionally important qualities as follows: strength – 56.3%, endurance – 67.9%, dexterity – 21.6%, coordination – 35.8%, speed – 38.4% flexibility – 12.7% (Figure 1).



**Figure 1. Agrarian students' understanding regarding professionally important level of physical qualities for chosen speciality**

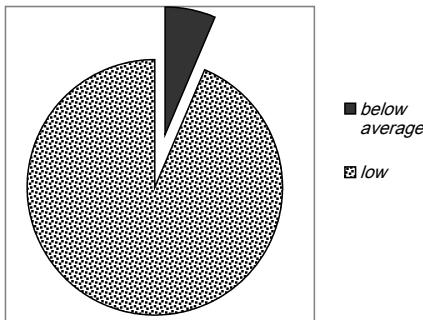
About 14.7% of respondents had difficulty in answering the questions about professionally important physical qualities. It should be noted that the largest part of them – 72.4% – were 1<sup>st</sup> year students.

48.1% of students believe that to successfully master the profession it is necessary to carefully study special theoretical disciplines in the chosen speciality. An important role of physical education and sports was outlined by 15.6% of respondents, 4.8% of them believe that physical training should have a professional orientation and take into account the specifics of the future profession. 36.3% of students had difficulty in answering the questions about PAPT.

Having analyzed the answers to the questions of the professional and applied block, it is possible to state that 85.3% of respondents have an unsatisfactory awareness level, their responses were awarded a score of 0. 12.5% of respondents were able to answer the questions, but their answers were not clearly formulated and did not fully disclose the content and features of the concepts of the notions proposed in the questionnaires, their answers were awarded a score of 1 point. Answers of 2,2% of students, which were able to clearly and meaningfully answer questions, showed awareness of the peculiarities of their future profession and preparation for working conditions, were awarded a score of 2 points.

### 10. General level of professional and applied awareness

Analysis of the research results and statistical processing of the obtained data allowed made it possible to determine the general level of professional and applied awareness of students studying on agricultural specialities (Figure 2).



**Figure 2. Level of professional and applied awareness of students studying on agricultural specialities**

The survey showed that 6.4 % of respondents provided meaningful answers to the questions of the two blocks and showed a level, which is below average. 93.6% of surveyed students, which only answered the questions of one of the five blocks, or could not formulate the notions and give clear meaningful answers to most questions of each block, have a low level of professional and applied awareness.

### 11. Conclusions

This study has outlined the main tasks of physical education in higher education establishments. As a result, the role of the professional and applied physical training in the system of physical education has been defined.

The survey results make it possible to state that most of surveyed students have a low level of professional and applied awareness. That was demonstrated by the fact that the high percentage of respondents had difficulties responding to the questions about theoretical, methodological, motivational, prognostic and professional-applied areas.

A large part of students' answers turned out to be far from the generally accepted definitions of notions. The percentage of answers, that would be clearly formulated and fully disclose the content of the notions proposed in the questionnaires, is insignificant.

Low level of professional and applied awareness was recorded in 93.6% of respondents; below average level of awareness was recorded in 6.4 % of surveyed students.

It should be noticed that the results corresponding to the average, higher than average or high levels of professional and applied awareness were not recorded among students.

The directions of further scientific researches will be to find ways to increase the level of professional and applied awareness of students studying on agricultural specialities.

### References:

1. Amelina, S. M. (2008). *Teoretyko-metodychni osnovy formuvannja kultury profesijnogho spilkuvannja studentiv vyshhykh aghrarnykh navchalnykh zakladiv* [Theoretical and methodological bases of formation of students' professional communication culture of higher agrarian educational establishments]. (DSc thesis abstract). Kharkiv, 40 p.
2. Bozhyk, M. (2013). Profesijno-prykladna fizychna pidgotovka jak efektyvna umova formuvannja ghotovnosti majbutnikh uchyteliv-predmetnykiv do profesijnoji dijalnosti [Professional and applied physical training as an effective condition for the formation of readiness of future subject teachers for professional activity]. *Fizyчне vykhovannja, sport i kultura zdorov'ja u suchasnomu suspiljstvi: zbirnyk naukovykh pracj* [Physical education, sports and health culture in modern society: a collection of scientific papers]. Luck, no. 1(21), pp. 32–35.
3. Burkovsjka, Z. (2012). Formuvannja profesijnykh cinnostej majbutnikh fakhivciv aghrarnogho profilju jak pedagoghichna problema [Formation of future agricultural specialists' professional values as a pedagogical problem.]. *Molodj i rynok* [Youth and the market], pp. 147–151.

4. Ghaljejeva, A. P. (2009). *Orghanizacijno-pedagoghichni umovy vykhovnoji dijajlnosti u vyshhomu aghrarnomu navchaljnomu zakladi* [Organizational and pedagogical conditions of educational activity in a higher agricultural educational institution]. (DSc thesis abstract). Droghobych, 22 p.

5. Gherasymova, I. Gh. (2014). Do problemy rozrobky modeli profesijnoji mobilnosti majbutnikh fakhivciv aghrarnoji ghaluzi [On the problem of the model development of future specialists' professional mobility in the agricultural sector]. *Naukovi zapysky Nac. untu «Ostrozjka akademija». Serija: Psykhologhija i pedaghoghika* [Scientific notes of Nat. Ostroh Academy. Series: Psychology and pedagogy]. Ostrogh, pp. 39–42.

6. Ghladoshuk, O. Gh. (2008). *Pedagoghichni umovy vdoskonalennja kultury zmichennja zdorov'ja studentiv v systemi fizychnogho vykhovannja u vyshhomu navchaljnomu zakladi* [Pedagogical conditions for improving the culture of students' health strength in the physical education system at higher education]. (DSc thesis abstract). Kyiv, 23 p.

7. Ghryban, Gh. P. (2013). Analiz fizychnoji pidghotovlenosti studentiv-aghrarijiv [Analysis of agricultural students' physical fitness]. *Naukovyj chasopys Nacionalnogo pedagogichnogo universytetu imeni M. P. Draghomanova. Serija 5, Pedaghoghichni nauky: realiji ta perspektyvy. Zb. nauk. pr.* [Scientific journal of National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 5, Pedagogical sciences: realities and prospects. Collection of scientific works]. Kyiv, vol. 9, pp. 29–35.

8. Ghryban, Gh. P, Tymoshenko, O. V, Tkachenko, P. P. (2013). Dynamika fizychnoji pidghotovlenosti studentiv-aghrarijiv protjaghom navchannja u vyshhomu navchaljnomu zakladi [Dynamics of agricultural students' physical fitness during their studies at the higher educational institution]. *Naukovyj chasopys Nacionalnogo pedagogichnogo universytetu imeni M. P. Draghomanova. Serija 5, Pedaghoghichni nauky: realiji ta perspektyvy. Zb. nauk. pr.* [Scientific journal of National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 5, Pedagogical sciences: realities and prospects. Collection of scientific works]. Kyiv, vol. 15, pp. 16–22.

9. Zaskaljeta, S. Gh. (2011). Problema profesijnoji pidghotovky fakhivciv aghrarnoji ghaluzi u pedaghoghichnij teoriji i praktychnij dijajlnosti vyshhykh navchaljnykh zakladiv Ukrainy [The problem of agricultural specialists' professional training in pedagogical theory and practical activities of higher educational institutions of Ukraine]. *Naukovi praci Chornomors'koghho derzhavnogo universytetu imeni Petra Moghyly. Serija: Pedaghoghika. Zb. nauk. pr.* [Scientific works of Chornomorskiy State University named after Petro Mohyla. Series: Pedagogy. Collection of scientific works]. Mykolaiv, pp. 44–49.

10. Zakharina, Je.A. (2008). *Formuvannja motyvaciji do rukhovoji aktyvnosti u procesi fizychnogho vykhovannja studentiv vyshhykh navchaljnykh zakladiv* [Formation of motivation for students' motor activity in the physical education process at higher educational institutions]. (DSc thesis abstract). Kyiv, 22 p.

11. Zorij, Ja. B. (2013). Pidvyshhennja profesijno prykladnoji dijevosti fizychnogho vykhovannja u VNZ cherez formuvannja u studentiv motyvaciji do samosti-



jnykh zanjatj [Improving the professionally applied effectiveness of physical education at higher educational institutions through the formation of students' motivation for independent study]. *Fizychna kuljtura i sport u navchaljnykh zakladakh skhidnojevropejskykh krajin* [Physical culture and sports in educational institutions of Eastern European countries]. Chernivci, pp. 22–25.

12. Iljkiv, O. S. (2003). *Formuvannja informacijnoji kuljтуры studentiv aghrarnykh zakladiv osvity I-II rivniv akredytaciji* [Information culture formation of students of agricultural educational institutions of I-II accreditation levels]. (DSc thesis abstract). Kyiv, 22 p.

13. Karabanov, Y. A. (2015). Professional applied physical training of future specialists of agricultural production. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, vol. 1, pp. 34–39.

14. Krucevych, T. Ju., Vorobjov, M. I., Bezverkhnja, Gh. V. (2011). *Kontrolj u fizychnomu vykhovanni ditej, pidlitkiv i molodi: navch. posib.* [Control in physical education of children, adolescents and youth: educational textbook]. Kyiv: Olimpjijska literature, 224 p.

15. Maljar, E. I., Budnyj, V. Je. (2009). Profesijno-prykladna fizychna pidgotovka studentiv u systemi vyshhoji profesijnoji osvity [Professional-applied physical training of students in the system of higher professional education]. *Pedagoghika, psykhologhija ta medykobiologhichni problemy fizychnogho vykhovannja i sportu* [Pedagogy, psychology and medical-biological problems of physical education and sports], vol. 12, pp. 120–123.

16. Molochenko, V. V. (2017). *Formuvannja u majbutnikh fakhivciv aghrarnoji sfery ghotovnosti do partners'koji vzajemodiji u profesijnij dijalnosti* [Readiness formation for partnership of future specialists of the agrarian sphere in professional activity]. Vinnycja, 25 p.

17. Ovsijenko, Ju. I. (2006). Do pytannja pro vybir profesijnogho sprjamuvannja studentamy aghrarnykh ZVO [On the question of choosing a professional direction by students of agricultural higher educational institutions]. *Didactics of mathematics: Problems and Investigations*, vol. 26, pp. 26–33.

18. Ostapova, O., Levkiv, V. (2013). Profesijno-prykladna fizychna pidgotovka studentiv ZVO Ukrainy I-IV rivniv akredytaciji: ponjattja, vydy, zmist [Professional and applied students' physical training of Ukrainian higher educational institutions of I-IV accreditation levels: concepts, types, content]. *Visnyk Chernighivskogo nacionalnogo pedagogichnogo univesitetu. Serija: Pedagoghichni nauky. Fizyчне vykhovannja ta sport. Zb. nauk. pr.* [Bulletin of Chernihiv National Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports. Collection of scientific works]. Chernighiv, vol. 112, pp. 212–215.

19. Petrenko, O. (2018). Kharakterystya motyviv ta rukhovykh upodobanj studentiv do zanjatj z fizychnogho vykhovannja [Characteristics of students' motives and motor preferences for physical education classes]. *Pedagoghichni nauky: teorija, istorija, innovacijni tekhnologhiji* [Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies]. Sumy, vol. 2(76), pp 175–185.

20. Pylypej, L. P. (2011). *Teoretyko-metodychni osnovy profesijno-prykladnoji fizychnoji pidgotovky studentiv vyshhykh navchaljnykh zakladiv* [Theoretical-

methodological bases of professional-applied physical training of students of higher education institutions] (DSC thesis abstract). Kyiv.

21. Prasolov, Je. Ja, Dudnyk, V. V., Bjelovol, S. A. (2014). Pidghotovka majbutnikh aghrarijiv do umov innovacijnoji ekonomiky. *Tekhnologhycheskyy audyt y rezervy proyzvodstva* [Technological audit and production reserves], vol. 3, pp. 62–65.

22. Prystavskyy, T. Gh. (2013). PPFП ta jiji misce v systemi fizychnogho vykhovannja v aghrarnykh vyshhykh navchalnykh zakladakh [PPFP and its place in the system of physical education at agricultural higher education institutions]. *Naukovyy visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Ghzhycjkogho* [Scientific Bulletin of LNUVMBT named after SZ Gzycki]. Tom 15, 3(57), part 4, pp. 419–422.

23. Prysjazhnjuk, S. I. (2010). *Biologhichnyj vik ta zdorov'ja studentskoi molodi* [monoghrafija] [Student youth biological age and health]. Kyiv: Centr navchalnoji literatury, 294 p.

24. Raevskiy, R. T., Kanishevskiy, S. M. (2008). *Professional'no-prikladnaya fizicheskaya podgotovka: monografiya* [Vocational and applied physical training: monograph]. Odessa: Nauka i tekhnika, 224 p.

25. Sakhnenko, A. V. (2018). Analiz struktury svitoghljadu studentiv aghrarnykh specialjnostej u sferi fizychnoi kul'tury i zdorov'ja [Structure analysis of the agricultural students' worldview in the field of physical culture and health]. *Visnyk Chernighivskogho nacionaljnogho pedagoghichnogho universytetu imeni T. Gh. Shevchenka* [Pedagogical Sciences Bulletin of Taras Shevchenko National Pedagogical University. Pedagogical sciences]. Chernighiv, vol. 152, pp. 72–75.

26. Sakhnenko, A. V., Kolomijecj, A. Ja. (2018). Zavdannja profesijno-orijentovanoji fizychnoi pidghotovy kvalifikovanykh specialistiv aghropromyslovogho kompleksu [Tasks of professionally-oriented physical training of qualified specialists of the agro-industrial complex]. *Sportyvnyj visnyk Prydniprov'ja. Fizychno vykhovannja ta sport* [Sports Bulletin of the Dnieper. Physical education and sports]. Dnipro, vol. 2, pp. 130–134.

27. Semeniv, B. C. (2014). Opredelenie struktury professional'noy podgotovki studentov tekhnologov pishchevoy promyshlennosti dlya ispol'zovaniya optimal'nykh rezhimov fizicheskoy trenirovki [Determining the structure of students' professional training of food industry technologists for the optimal modes use of physical training]. *Naukoviy chasopis Natsional'nogo pedagogichnogho universytetu imeni M. P. Dragomanova. Seriya 15: Naukovo-pedagogichni problemi fizichnoi kul'turi (fizichna kul'tura i sport)* [Scientific journal of the National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 15: Scientific and pedagogical problems of physical culture (physical culture and sports)]. Kyiv, vol. 3(46), pp. 87–92.

28. Khomenko, O. S. (2017). Profesijno-prykladna fizychna pidghotovka studentiv aghrarnykh specialjnostej [Professional and applied physical training of students of agricultural specialties]. *Naukoviy chasopis Natsional'nogo pedagogichnogho universytetu imeni M. P. Dragomanova. Seriya 15: Naukovo-pedagogichni problemi fizichnoi kul'turi (fizichna kul'tura i sport)* [Scientific journal of the National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 15: Scientific and pedagogical problems of physical culture (physical culture and sports)]. Kyiv, vol. 4, pp. 123–127. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nchnpu\\_015\\_2017\\_4\\_35](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nchnpu_015_2017_4_35)

## Chapter «Physical education and sport»

---

29. Khomenko, O. S. (2019). Udokonalennja procesu fizychnogho vykhovannja studentiv aghrarnykh specialjnostej na osnovi sekcijnykh zanjatj vijskovo-sportyvnyh baghatoborstvom [Improving the process of students' physical education of agricultural specialties on the basis of sectional classes in military-sports all-around] (DSc thesis abstract). Sumy, 22 p.

## CHAPTER «MEDICAL SCIENCES»

### RADIATION DIAGNOSIS OF AORTOMESENERIC DUODENAL COMPRESSION

### ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА АРТЕРИОМЕЗЕНТЕРИАЛЬНОЙ КОМПРЕССИИ ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ

**Kateryna Doikova<sup>1</sup>**

**Olena Mirza<sup>2</sup>**

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-48>

**Abstract.** In the following study, we presented and conducted a structural analysis of the clinical manifestations of aortomesenteric conflict (or superior mesenteric artery syndrome, SMA syndrome) in 71 patients aged 14 days through 65 years. We aimed to assess the evolution of the symptoms in time and its connection to other abdominal pathology. The selection criteria for this study included MSCT signs of aortomesenteric conflict and following a deep analysis of the patient's case history. Patients presented with exocrine pancreatic insufficiency and gastric outlet obstruction were excluded unless MSCT showed signs of aortomesenteric conflict, because, in most cases, these symptoms were reflexive. All patients were fasting and imaging studies were conducted using the standard multiphase protocol for contrast-enhanced CT using iodine-based non-ionic contrast media.

The preliminary analysis discovered that in the current study group with developed clinical signs of SMA syndrome, only 36 patients were examined for suspected chronic duodenal ileus. In other 35 patients imaging study was performed due to the following clinical manifestations: hydronephro-

---

<sup>1</sup> Assistant Professor at the Department of Radiation Diagnostics, Therapy and Radiation Medicine, Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

<sup>2</sup> Assistant Professor at the Department of Radiation Diagnostics, Therapy and Radiation Medicine, Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

sis (15 patients), hematuria (9 patients), chronic pancreatitis (5 patients), abdominal aortic aneurism (2 patients), abdominal trauma (1 patient), small bowel obstruction (1 patient), hyperlordosis and scoliosis (1 patient), abdominal neoplasm (1 patient). These findings suggest this pathology is significantly more widespread than it was previously estimated. The presence of efficient compensatory mechanisms that conceal the pathology can be presumed. However, in the long-term perspective, clinically relevant symptoms of duodenal ileus developed in all cases.

During this study we established that images from MSCT could be used as a predictor of chronic duodenal ileus: the level of the manifestation of the SMA syndrome is connected not only to the angle of SMA branching but to the distance between SMA and aorta at the duodenum level and interval between the duodenum and the angle apex as well. We refined duodenal distance ranges that had distinctive clinical manifestations. Age, in our opinion, is another significant prognostic since the relative position of the aorta, SMA, and duodenum changes during the child's development, which, in turn, reduces the symptoms. Notably, in patients with a "congenital" anomaly of minute SMA branching angle from the aorta, the distance between these two blood vessels increased, which alleviated aortomesenteric conflict symptoms. We believe that the aforementioned changes are induced by the development of Treitz ligament and duodenum as well as abdominal organs' growth. At the same time, in patients with "acquired" SMA syndrome, evolving secondary to various diseases, as, for example, in pancreatic pseudocysts, advanced right-side hydronephrosis, hyperlordosis combined with scoliosis, pancreatic cystadenoma, abdominal aortic aneurism, obesity, lymphoproliferative diseases, we noticed an opposite pattern. Clinical manifestations of aortomesenteric conflict become more often and worse with time due to the weakening of neuromuscular junctions, which leads to pyloric relaxation and duodenal reflux. In turn, this causes gastric enlargement and development of bile reflux gastritis. Described pathological pathway alters structural relationships between blood vessels, thus it is considered as a predictor of the disease progression.

In this study, we also analyzed various anatomical features that in the long-term perspective caused SMA syndrome in connection with other pathological conditions. Additionally, we presented cases of "acquired" aortomesenteric conflict with vascular anatomy alterations induced by past medical history or concomitant diseases, e.g. pancreatitis, pancreatic cystadenoma, lymphoma, abdominal aortic aneurism.

## 1. Вступление

### 1.1. Актуальность проблемы

Артериомезентериальная компрессия является одной из причин хронической дуоденальной непроходимости ниже-горизонтальной части двенадцатиперстной кишки, возникающей в результате сдавления двенадцатиперстной кишки между верхней брыжеечной артерией и аортой.

Впервые в 1861 году барон Von Rokitansky заметил, что верхние брыжеечные сосуды могут сдавливать и перекрывать двенадцатиперстную кишку над поясничным отделом позвоночника. Впоследствии, в 1927 году, Wilkie опубликовал первое исследование из 75 пациентов. Таким образом, SMAS также известен как синдром Wilkie, артериомезентериальная дуоденальная компрессия, хроническая двенадцатиперстная кишка [11; 20].

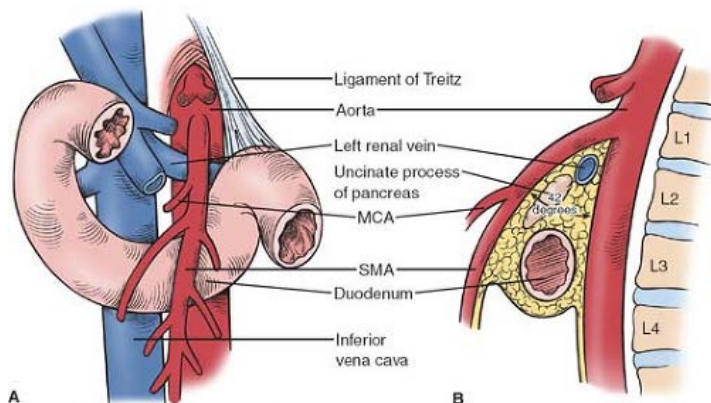
Синдром сосудистой компрессии 12-перстной кишки по данным литературы является редким и тяжело диагностируемым заболеванием. Встречается в 0,1-0,3% от числа обследованных [1-4]. Среди пациентов, описанных в литературных источниках, преобладают женщины в соотношении 3:2 в возрасте 10-39 лет, но может возникнуть и любом возрасте [1-4; 7].

### 1.2. Рентген анатомические особенности

В норме верхняя брыжеечная артерия отходит от аорты под углом 30-60° на уровне первого поясничного позвонка. Обычно угол составляет 45° [7; 11; 17; 20], при артериомезентериальной компрессии уменьшается до 6-25° (рис. 1, 2). Третья часть ДПК располагается обычно на уровне тела третьего поясничного позвонка и проходит между аортой (сзади) и верхней брыжеечной артерией (спереди) (рис. 3). Расстояние между этими сосудами составляет 10-28 мм, при АМК уменьшается до 2-8 мм [7; 11; 17; 20].

ВБА огибает двенадцатиперстную кишку плавно, не прижимая ее к аорте, в том числе и за счет жировой ткани и лимфатических сосудов, расположенных между артерией и кишкой. Связка Трейтца удерживает двенадцатиперстную кишку в сосудистом угле между ВБА и БА [21; 24]. Она может фиксироваться высоко и подтягивать кверху дуоденоюнальный изгиб, кроме того, она может быть фиксирована к восходящей или

нижней горизонтальной части двенадцатиперстной кишки. Это способствует смещению нижней горизонтальной части двенадцатиперстной кишки вверх и приближению ее к вершине аортомезентериального угла. Потеря массы тела приводит к уменьшению ретроперитонеального и перидуоденального жира, расстояние между ВБА и БА уменьшается, и развивается клиника дуоденальной непроходимости [20].



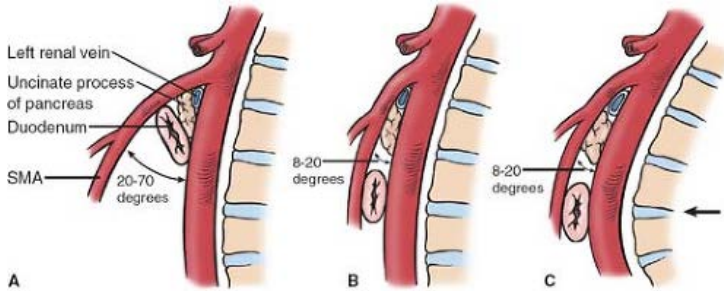
**Рис. 1. А:** Схематическое изображение нормального анатомического взаиморасположения двенадцатиперстной кишки, связки Трейтца, аорты. ВБА пересекает кишку в её третьей части. **В:** Боковая схема иллюстрирует среднестатистический аортомезентериальный угол  $42,4^\circ$ , нормальное взаиморасположение аорты и ВБА по отношению к позвоночнику, а также содержимое аортомезентериального угла: левая почечная вена, крючковидный отросток поджелудочной железы, 12-перстная кишка и ретроперитонеальная жировая прослойка, СКА (средняя ободочно-кишечная артерия) и нижняя полая вена [12]

### 1.3. Методы и цель исследования

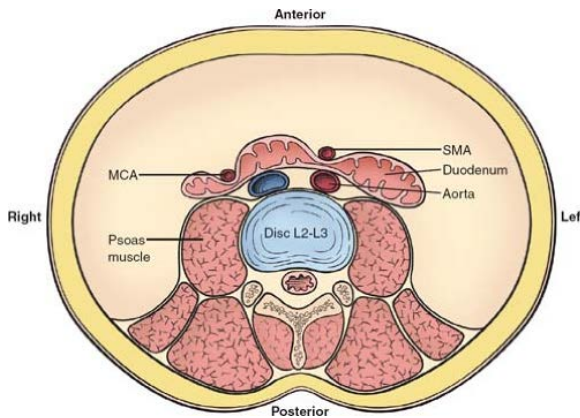
Целью данной работы является выявление закономерностей развития клинических и рентгенологических проявлений артериомезентериальной компрессии в зависимости от возраста, сопутствующей патологии, а также причинно-следственной связи между аортомезентериальным конфликтом, компрессией 12-перстной кишки и другими клиническими проявлениями данного синдрома.

В работе приведен структурный анализ проявлений артериомезентериальной компрессии у 71 пациента по данным рентгеновских и МСКТ





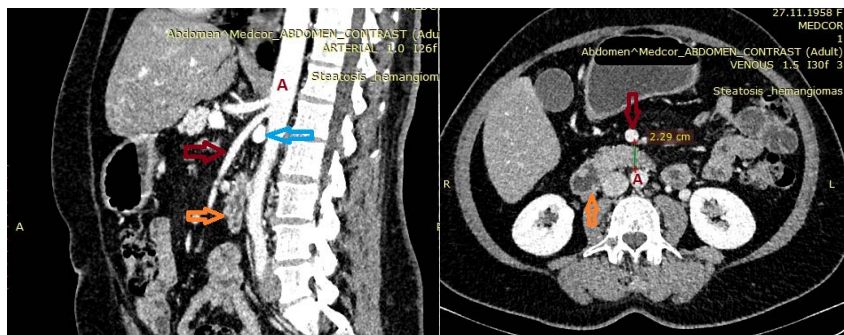
**Рис. 2:** *А.* Нормальный аорто-мезентериальный угол. *В:* Более острый аорто-мезентериальный угол у пациента с сосудистой обструкцией 12-перстной кишки. *С:* Выраженный поясничный лордоз может усугублять артерио-мезентериальный конфликт. SMA (ВБА), верхняя брыжеечная артерия [12]



**Рис. 3.** Схематическое изображение аксиального среза на уровне L2-L3 иллюстрирует вероятные места обструкции третьей части 12-перстной кишки между ВБА и аортой или СКА и правой поясничной мышцей. SMA (ВБА), верхняя брыжеечная артерия; MCA (СКА), средняя ободочно-кишечная артерия [12]

исследований в возрасте от 14 дней до 65 лет. Рассмотрены анатомические варианты соотношения структур, приводящие к артериомезентериальной компрессии с особенностями их проявления и ассоциацией с другими патологическими состояниями (панкреатит, киста и цистаденома поджелудочной железы, лимфома, аневризма брюшной аорты).





*Рис. 4. Нормальное соотношение между верхней брыжеечной артерией и аортой на КТ. Артериальная фаза*

## 2. Результаты исследования

Анализ полученных данных выявил, что у 36 пациентов синдромом хронической дуоденальной недостаточности была заподозрена артериомезентериальная компрессия до проведения лучевого исследования. Остальным 35 пациентам МС КТ было выполнено по другим клиническим показаниям. В этой группе были пациенты с гидронефротической трансформацией почек (15 пациентов), гематурией (9 пациентов), хроническим панкреатитом (5 пациента), аневризмой брюшной аорты (2 пациента), травматическим повреждением органов брюшной полости (1 пациент), высокой кишечной непроходимостью (1 пациент), гиперлордозом и сколиозом (1 пациент), онкологическими заболеваниями ОБП (1 пациент).

### 2.1. Классификация причин, вызывающих артериомезентериальную компрессию

Основными причинами возникновения артериомезентериальной компрессии двенадцатиперстной кишки являются:

1. нарушение анатомического соотношения между верхней брыжеечной артерией, аортой и нижней горизонтальной частью двенадцатиперстной кишки на уровне II-III поясничных позвонков. В этих случаях двенадцатиперстная кишка прижимается верхней брыжеечной артерией к аорте;

2. сужение истинного пространства между аортою и верхней брыжеечной артерией;

3. возможно сдавление двенадцатиперстной кишки между средней ободочной артерией и позвоночником;

4. большое значение предается наличию\появлению жировой клетчатки в брыжейке, которая как подушка защищает нижнюю горизонтальную часть двенадцатиперстной кишки от сдавления верхней брыжеечной артерией. Это во многом объясняет инволюцию клинических и рентгенологических проявлений артериальной компрессии у детей с возрастом;

5. чрезмерная подвижность правой половины толстой кишки;

6. резко выраженный лордоз и сколиоз в ниже-грудном и поясничном отделах позвоночника;

7. «провисание» удлинненной 12-перстной кишки, иногда в сочетании с ги-перлордозом;

8. длительное нахождение пациента в горизонтальном положении;

9. спаечные процессы после перенесенных операциях на ОБП;

10. натяжение корня брыжейки у кахексичных пациентов, больных с висцероптозом и пациентов с большими паховыми грыжами;

11. острое расширение желудка и слабость передней брюшной стенки у пациентов с избыточным весом;

12. перидуоденит;

13. увеличение лимфатических узлов корня брыжейки при лимфо-пролиферативных заболеваниях особенно у детей;

14. оттеснение верхней брыжеечной артерии кзади опухолью поджелудочной железы, крупными псевдокистами поджелудочной железы, образовавшимися в результате острого деструктивного панкреатита; при травматической гематоме брюшной полости и оттеснение аорты аневризмой или при гематоме, образовавшейся при разрыве аневризматического мешка;

15. патологией почек.

В результате вышеописанных причин происходит компрессия горизонтальной части двенадцатиперстной кишки с расширением вышележащей ее части и постепенно нарастающей хронической дуоденальной недостаточностью.

В группе пациентов с признаками артериомезентериальной компрессией, появившегося в результате развившихся патологических изменений в брюшной полости, в клинике часто превалирует тяжесть основного заболевания. В некоторых случаях дуоденальная недостаточность становится первой причиной обращаемости пациента в лечебное учреждение

### **2.2. Клинические проявления.**

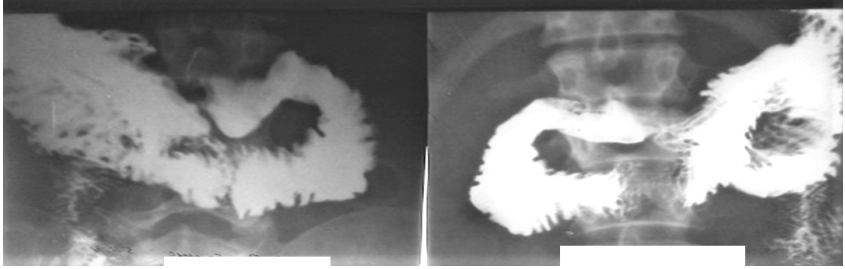
Жалобы больных при артериомезентериальной компрессии ДПК:

- периодические, тупые ноющие боли без определенной связи с приемом пищи, не зависят от времени суток, не проявляют сезонность; не купируемые анальгетиками и спазмолитиками
- тяжесть в эпигастральной области приходящие боли, после еды;
- чувство давления и дискомфорта в животе;
- чувство быстрого насыщения, дискомфорта в верхних отделах живота;
- тошнота;
- изжога;
- отрыжка воздухом или желудочным содержимым;
- иногда, заканчивающаяся рвотой с примесью желчи;
- нарушения стула в виде поноса или запора.

На поздних стадиях заболевания клиническая картина артериомезентериальной компрессии реализуется признаками острого или хронического холецистита, панкреатита, язвенной болезни. У таких пациентов выявляются нарушение сократительной функции желчного пузыря и расширение общего желчного протока.

### **3. Диагностические признаки артериомезентериальной компрессии ДПК**

Рентгенологические симптомы артериомезентериальной компрессии лучше диагностируются при проведении МСКТ с контрастным усилением и МРТ. Следует помнить о перемежающемся характере синдрома артериальной компрессии и проводить исследование в период клинического обострения проявлений болезни, так как в промежутках между приступами нарушений в моторно-эвакуаторной деятельности можно не выявить.

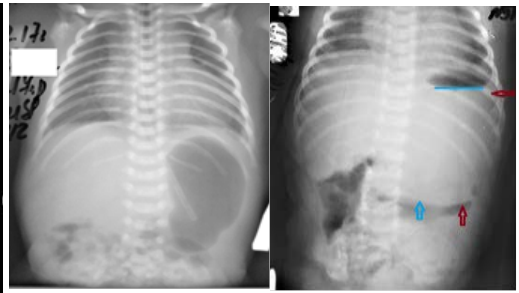


*Рис. 5. Пациент Л, 34 года. Сдавление корнем брыжейки нижней горизонтальной ветви ДПК*

### 3.1. Особенности лучевых проявлений АМК у детей



*Рис. 6. Новорожденная. 7 дней. Гепатоспленомегалия. Желудок оттеснен вниз, раздут газами (синие стрелки), газ в луковиче 12-перстной кишки (красная стрелка). Принципиально важно отличить пилороспазм и врожденный пилоростеноз*

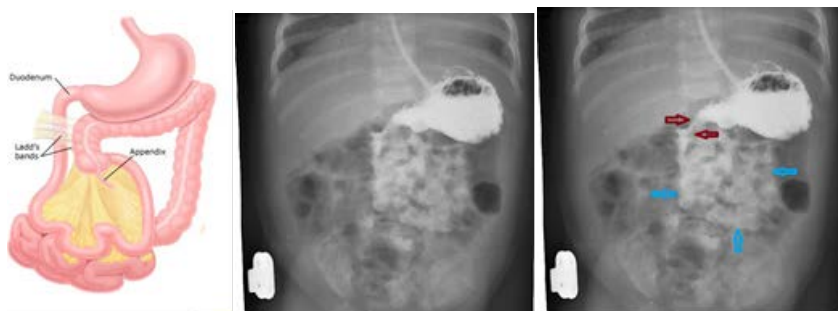


*Рис. 7. Рентгенограмма слева. Вертикально. Пилороспазм: раздутый газами желудок, небольшое количество газа неравномерно распределено по петлям кишечника. Подозрение на пилороспазм необоснованно: увеличенный в объем желудок (красные стрелки) с большим количеством пищи (синяя линия) от-тесняет петли кишечника вниз. Кишечник содержит значительное количество газов*

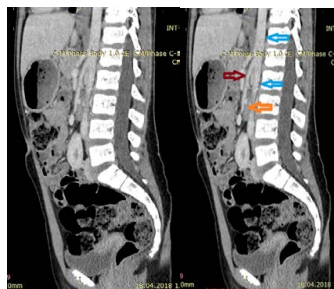
У новорожденных с клиническими проявлениями пилороспазма при резком смещении желудка следует помнить и о возможности возникновения ишемии брыжейки вследствие ее натяжения (рис. 6, 7). Связочный аппарат новорожденного недостаточно сформирован, подвижность желудка ограничивается фиксацией малого сальника, а эва-

куация пищи в горизонтальном положении даже в норме составляет 4-5 часов [24]. Все вышеперечисленные факторы предрасполагают к развитию артериальной компрессии.

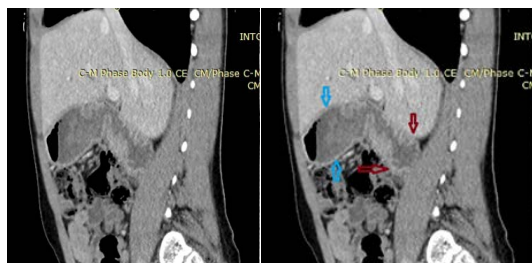
Синдром дуоденальной компрессии может быть обусловлен и мальротацией кишечника, связанным с «провисанием» 12-перстной кишки. Возможна и ассоциация с врожденным стенозом привратника как в приводимом ниже случае.



**Рис. 8.** Мальчик. 3 недели. Нерезко выраженный врожденный пилоростеноз. Мальротация кишечника (синие стрелки). Прямые признаки врожденного пилоростеноза: удлинение привратника (красные стрелки); несколько поверхностных перистальтических волн по большой кривизне, видимых одновременно; в области угла желудка отмечается и глубокая перистолта

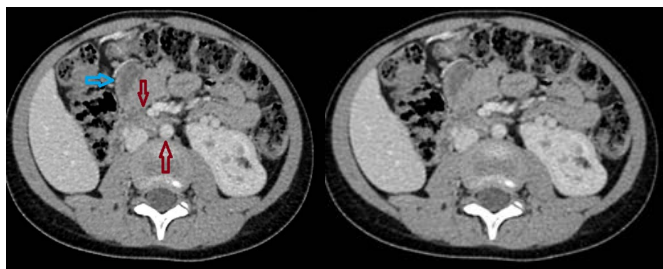


**Рис. 9.** Девочка. 12 лет. Сагиттальная реконструкция МС КТ поздняя артериальная фаза. Артериомезентериальная компрессия. Угол отхождения верхней брыжеечной артерии (красная стрелка) от аорты (синяя стрелка) менее 150, расположен на уровне L1. Коричневая стрелка указывает на зажатую между сосудистыми структурами 12-перстной кишки. Уровень прохождения между сосудами 12-перстной кишки – L3-L4



*Рис. 10. Девочка. 12 лет. Продолжение случая. Сагиттальная реконструкция КТ поздняя артериальная фаза. Исследование проводилось натощак*

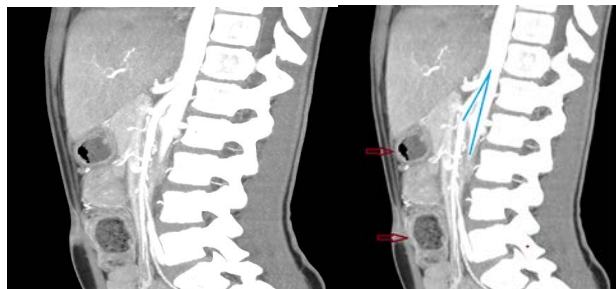
На сагиттальном скане синие стрелки указывают на желудок, натощак содержащий значительное количество жидкости и незначительное количество газа. Красные стрелки указывают расширение 12-перстной кишки выше места сдавления ее при прохождении между аортой и верхней брыжеечной артерией и расширение желудка. Привратник зияет.



*Рис. 11. Девочка. 12 лет. Продолжение случая. На аксиальном скане МС КТ в позднюю артериальную фазу наглядно видно, как между аортой и верхней брыжеечной артерией (красные стрелки) мало остается места для сдавленной на этом уровне 12-перстной кишки. Выше места обструкции дуоденум значительно расширена (синяя стрелка)*

По мере роста ребенка расстояние до вершины угла отхождения верхней брыжеечной артерии от аорты будет увеличиваться, увеличится и истинное расстояние между этими анатомическими структурами, а также укрепление связочного аппарата и появления жировых отложений вокруг 12-перстной кишки тем самым уменьшая признаки артериомезентериальной компрессии.

Значимость и важность не только угла отхождения верхней брыжеечной артерии от аорты, но и уровня расположения между этими анатомическими структурами 12-перстной кишки иллюстрирует нижеприведенное наблюдение.



*Рис. 12. Девочка. 4 года. Клиника высокой кишечной непроходимости. КТ сагиттальная MIP-реконструкция. Ранняя артериальная фаза*

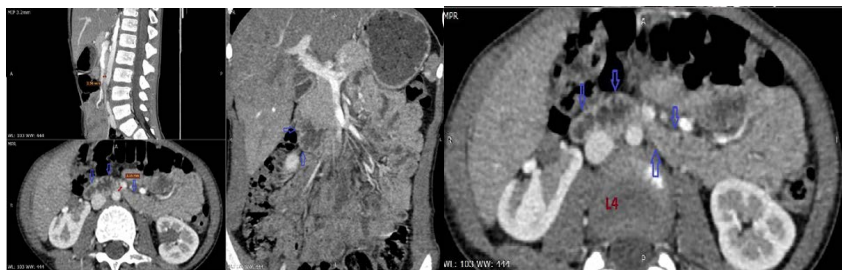
Угол между сосудами составляет 6 градусов (синие стрелки). Стенки 12-перстной кишки отечные, расширены, сохраняется адекватное накопление слизистой контраста. 12-перстной кишки зажата между сосудами, в ее просвете появляются псевдокаловые массы (красные стрелки). Уровень расположения 12-перстной кишки между сосудами L2 (рис. 12).



*Рис. 13. Продолжение случая. Девочка. 4 года. Клиника высокой кишечной непроходимости*



КТ фронтальная МР-реконструкция. Ранняя артериальная фаза. Расширенная луковица 12-перстной кишки (синяя стрелка), в ее просвете газ и остатки пищи, псевдокаловые массы; желудок спавшийся, правая желудочная артерия идет вдоль большой кривизны желудка (красные стрелки); в просвете желудка – газ и остатки пищи (оранжевые стрелки) (рис. 13).



*Рис. 14. Девочка 6 лет. МР-реконструкции. Клинические приступы болей «неясной этиологии». Артериомезентериальная компрессия за счет провисания удлинненной 12-перстной кишки*

В аксиальной и сагитальной проекциях показано расстояние между верхней брыжеечной артерией и аортой (3.5 мм). 12-перстная кишка обозначена синими стрелками. Проксимальнее места сжатия между сосудами ДПК расширена, содержит жидкость; дистальнее – спавшаяся. В желудке остатки пищи и воздух. Привратник зияет (рис. 14).



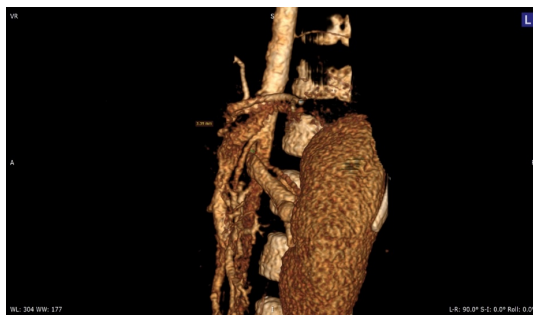
*Рис. 15. Девочка 6 лет. МР-реконструкции. Продолжение случая*



Возможность анатомического удлинения, «провисания» 12-перстной кишки тоже может демонстрировать аорто-мезентериальный конфликт.

### 3.2. Ассоциация АМК

Вышерасположенные реконструкции (рис. 15) демонстрируют компрессию левой почечной вены при прохождении между аортой и верхней брыжеечной артерией – симптом Щелкунчика.



*Рис. 16. Девочка 6 лет. Продолжение случая. Показано расстояние между аортой и верхней мезентеральной артерией. Выведено место прохождения между ними левой почечной артерии. Сосуд частично компримирован, что вызвало расширение левой лоханки*

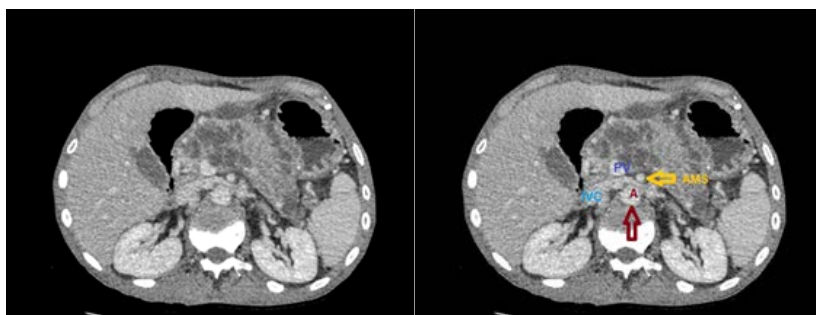
По данным КТ расстояние между аортой и верхней брыжеечной артерии в месте прохождения дуоденум составляет 3.5 мм (сканы и 3D-реконструкция, рис. 16). На сагитальной реконструкции четко видно уровень L4.

Мальротация правой почки – часто встречаемая ассоциация среди наблюдаемой нами при выборке пациентов в детском возрасте.

### 3.3. Проявления АМК в результате приобретенных заболеваний

При значительном увеличении поджелудочной железы любого генеза, она оттесняет верхнюю брыжеечную артерию кзади, уменьшает расстояние между нею и аортой. Так как горизонтальная часть 12-перстной кишки лежит в bursa omentalis и проходит между этими сосудами, то она сдавливается, возникает сосудистая компрессия.

В ниже приводимом случае (рис. 17) значительно увеличенная поджелудочная железа занимает практически все свободное пространство в bursa omentalis. Представляемые сканы выполнены в поздней артериальной фазе, поэтому поджелудочная железа успела хорошо накопить контраст, и кистовидные образования хорошо визуализируются на ее фоне. Поджелудочная железа частично компримирует 12-перстную кишку и оттесняет ее латерально. Определяется смещение верхней брыжеечной артерии кзади. Пространство сумки настолько плотно упаковано поджелудочной железой, что аорта вплотную прилежит к телу позвонка. Расстояние между нею и верхней брыжеечной артерией (желтая стрелка) становится минимальным и составляет 3-4 мм. Определяется и умеренная компрессия портальной вены (PV).



*Рис. 17. Мужчина, 34 года. Цистаденома поджелудочной железы.  
Аксиальные сканы КТ в артериальную фазу*

Разные заболевания могут рентгенологически демонстрировать похожую картину как в приводимом ниже клиническом случае пациента, перенесшего деструктивный панкреатит (рис. 18).

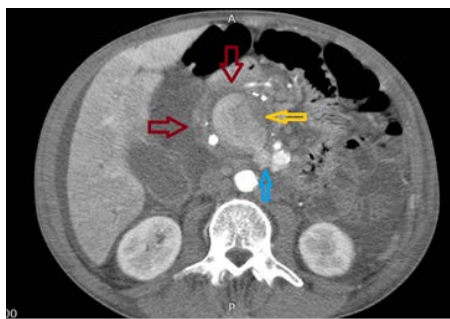
При деструктивном панкреатите в случае образования крупных кистозных полостей и фиброзными изменениями в парапанкреатической клетчатке меняется архитектура сосудов.

По данным литературы, частота сосудистых осложнений панкреатита составляет 1,2-14% [25; 26; 27].

При хроническом панкреатите такие осложнения встречаются чаще (7-10%), нежели при остром (1-6%). Общая смертность от кровоте-

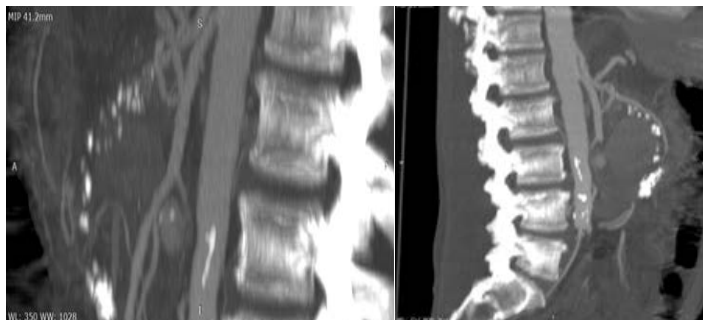
чений при остром панкреатите достигает 34-52%, и это значительно выше, чем у пациентов без кровотечения [25; 26; 27].

Развитие псевдоаневризм верхней брыжеечной артерии связывают с недостатком альфа1-антитрипсина. В настоящее время псевдоаневризмы верхней брыжеечной артерии в двух из трех случаев встречаются среди мужчин. Их выявление является трудной диагностической дилеммой, что обусловлено, с одной стороны, отсутствием клинической симптоматики, а с другой – высокой вероятностью летального исхода в случае разрыва псевдоаневризмы. Считается, что разрыв истинной аневризмы – явление редкое, а разрывы псевдоаневризмы происходят чаще. Летальность при разрыве колеблется от 25 до 100%. Диагностика псевдоаневризм висцеральных артерий затруднена. При рентгенологическом исследовании ее обычно принимают за кисту поджелудочной железы или интрамуральную доброкачественную опухоль желудка. В отличие от аневризм селезеночных и печеночных артерий наиболее частой причиной аневризм верхней брыжеечной артерии остается инфекция.



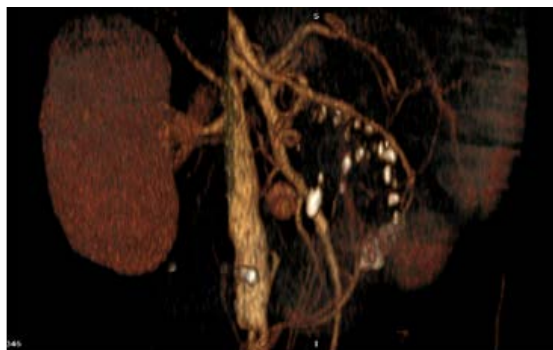
**Рис. 18.** Мужчина, 50 лет. Псевдокиста прилежит к артерии (синяя стрелка), а ферменты панкреатического сока вызывают эрозию ее стенки и кровотечение в просвет кисты

Киста по периферии заполнилась тромботическими массами (желтая стрелка), но в ее центре сохраняет кровоток. При сообщении псевдокисты (красные стрелки) с главным панкреатическим протоком кровь через большой сосок двенадцатиперстной кишки (БСДК) может поступать в просвет.



*Рис. 19. Кальцинация стенки псевдокисты оказывает дополнительный эффект при сдавливании 12-перстной кишки и тоже как отдельный значимый фактор участвует в реализации сосудистого конфликта*

Среди пожилого населения возрастает количество ложных аневризм при панкреатитах (рис. 20).



*Рис. 20. Кальцинированная псевдокиста поджелудочной железы, множественные конкременты по ходу Вирсунгова протока. Псевдоаневризма верхней брыжеечной артерии осложнившаяся кровотечением в псевдокисту*

Изменение во взаимоположении сосудов в связи с фиброзными изменениями в парапанкреатической клетчатке со временем только усугубляются.

Причиной первичной обращаемости в наблюдаемой нами группе пациентов значительная доля (24 пациента) были жалобы на почечную патологию. Во время проведения КТ обследования выявление

признаков дуоденальной компрессии сосудами часто оказывались неожиданными, т.к. клинически на первом месте предьявлялись другие жалобы.

При патологии забрюшинного пространства, например, гидронефротической трансформация почки, положение сосудистых структур может меняться. Может происходить более или менее выраженная компрессия нижней полой вены со сближением верхней брыжеечной артерии с аортой, между которыми «зажатой» оказывается 12-перстная кишка. Чем моложе пациент, тем более ярко клинически это проявляется.

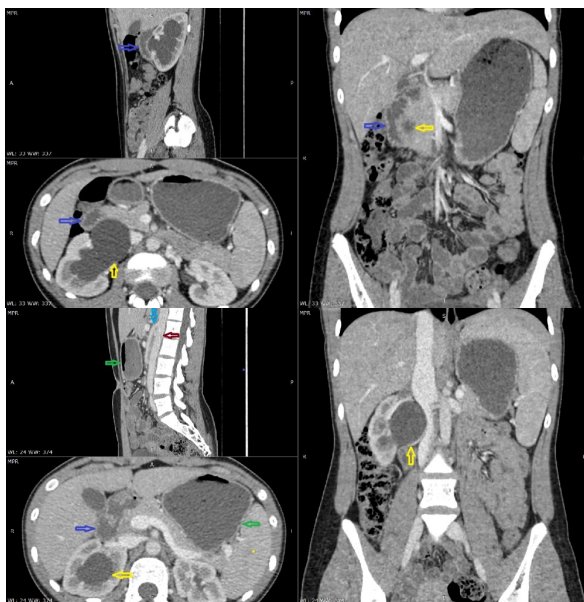
В ниже приведенном случае ребенка 8 лет с выраженным гидронефрозом. Клинически преобладали признаки дуоденостаза (рис. 21).



*Рис. 21. Аорта-красная стрелка. Верхняя брыжеечная артерия – голубая стрелка. 12-перстная кишка – синие стрелки*

Важно отметить, что с-м щелкунчика, то есть сдавление левой почечной вены при прохождении между аортой и верхней брыжеечной артерией во многих случаях (рис. 21-22) не проявляется клинически, хотя расстояние это может быть совсем маленьким. Мы считаем, что это следствие особенностей строения стенки почечных вен и относительно малым давлением крови в данном сосуде. Благодаря чему условия оттока длительно сохраняют стабильность и не становятся критичными.

Комбинация аорто-мезентериального конфликта и с-ма щелкунчика среди наблюдаемых нами пациентов с клиникой дуоденальной недостаточности встречается более чем в половине случаев (рис. 23).



**Рис. 22.** Синими стрелками на всех сканах отмечена расширенная выше места сужения 12-перстная кишка. Желтыми стрелками обозначена расширенная лоханка правой почки, увеличение которой вызывает дислокацию нижней полой вены и верхней брыжеечной артерии, прижимая последнюю к аорте. Аортомезентериальный угол сужен до 8 градусов, расстояние между аортой и верхней брыжеечной артерией в месте «проскальзывания» между ними 12-перстной кишки составляет всего 3 мм. 12-перстная кишка также испытывает локальное давление увеличенной в объеме лоханкой правой почки, вследствие чего оттесняется. Это еще более усугубляет клинику дуоденостаза. Желудок расширен

Мы рассмотрели уменьшение расстояния между сосудами при оттеснении верхней брыжеечной артерии кзади. В клинической практике встречаются и другие клинические случаи: когда аорта смещается кпереди, критично приближаясь к верхней брыжеечной артерии и сдавливая 12-перстную кишку.

Аневризматический мешок (А) брюшной аорты расположен на уровне L3-L5 выполнен тромботическими массами. Аневризма распространяется от уровня отхождения ренальных артерий до зоны перехода аорты в подвздошные артерии. В связи с распространенностью анев-

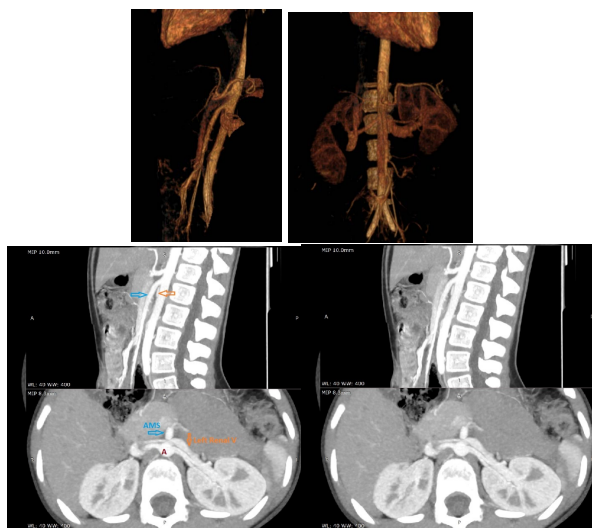


Рис. 23. Пояснения в тексте

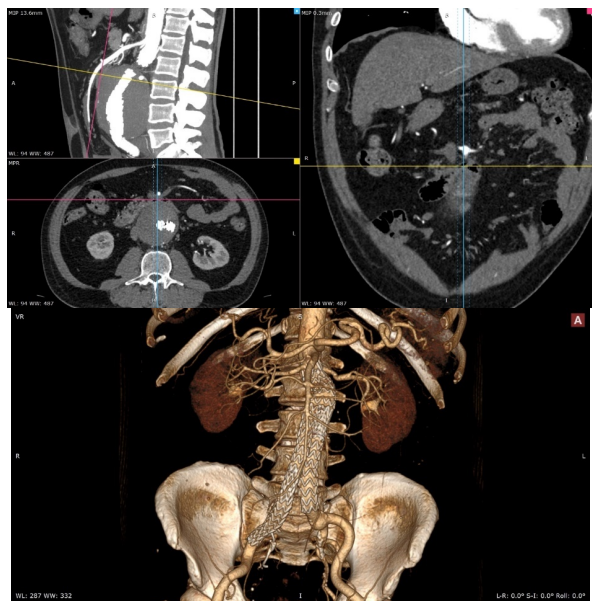


Рис. 24. Мужчина. 64 года. Пояснения в тексте



ризм было выполнено «высокое стентирование». Стент на момент исследования расположен центрально. Частичный кальциноз стенок аневризмы. Предикторов разрыва аневризмы не выявлено (рис. 24).

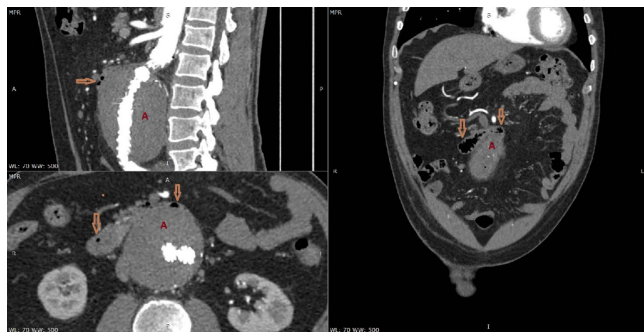


Рис. 25. Продолжение случая. Пояснения в тексте

Аневризма занимает значительное пространство, отесняя 12-перстную кишку (коричневые стрелки) кпереди и прижимая ее к верхней брыжеечной артерии. Угол отхождения верхней брыжеечной артерии от аорты, наоборот, увеличился. Однако пространство между аортой и верхней брыжеечной артерией на уровне прохождения между ними сузилось до 4 мм, что вызвало рентгенологическую и клиническую реализацию аортомезентериального конфликта (рис. 25).

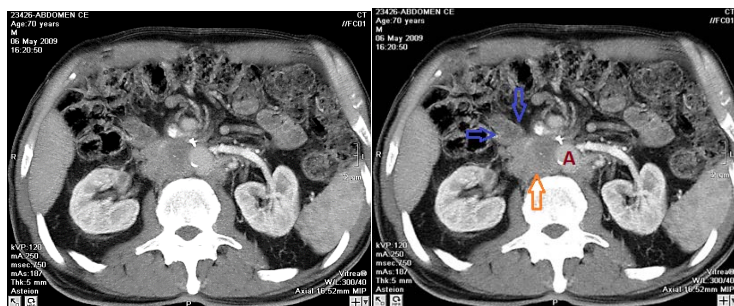
Реализация аортомезентериального конфликта развивается у пациентов с лимфопролиферативными заболеваниями и при наличии конгломератов увеличенных лимфатических узлов в непосредственной близости к сосудистым структурам.

Ниже приводятся случаи таких патологических проявлений при лимфоме Ходжкина (рис. 26).

Увеличенные лимфатические узлы поясничной и межкишечной групп (коричневая стрелка) вызывают сдавливание 12-перстной кишки (синие стрелки) при прохождении ее между сосудистыми структурами. Аорта указана красной буквой А (рис. 26).

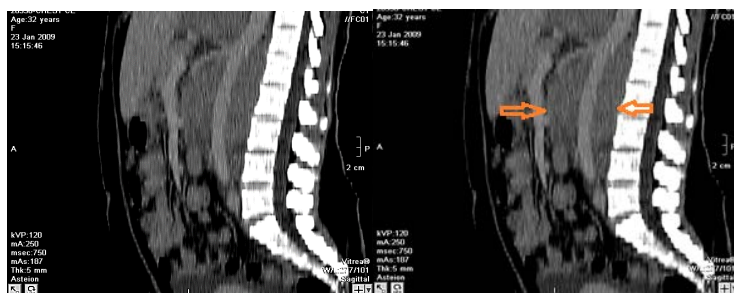
Крупный конгломерат лимфатических узлов забрюшинной и ретро-крупальной групп охватывает аорту, отесняет верхнюю брыжеечную артерию кпереди и увеличивает угол отхождения этого сосуда от аорты (рис. 27).





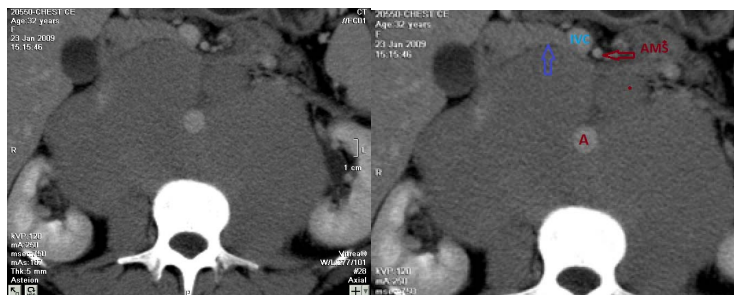
*Рис. 26. Лимфома Ходжкина.*

*Контрольное исследование после проведенной курса химиолучевой терапии.  
Пояснения в тексте*



*Рис. 27. Лимфома Ходжкина.*

*Поражение забрюшинных и ретрокуральных лимфатических узлов.  
Пояснения в тексте*



*Рис. 28. Лимфома Ходжкина. Продолжение случая.*

*Пояснения в тексте*

Конгломерат лимфатических узлов, охватывающий аорту (буква А) и оттесняющий её кпереди. Расстояние между верхней брыжеечной артерией (красная стрелка) и аортой заполнено конгломератом лимфоузлов, увеличено. Верхняя брыжеечная артерия (AMS) и нижняя полая вена (IVC) смещены. 12-перстная кишка (синяя стрелка) компримирована в месте прохождения между сосудами. Значимая компрессия 12-перстной кишки производится преимущественно лимфатическими узлами (рис. 28).

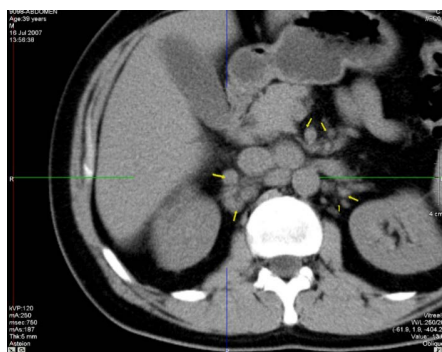


Рис. 29. Лимфома Ходжкина. Пояснения в тексте

При наличии мелких множественных лимфатических узлов, не сливающихся в конгломераты такой компрессии, не наблюдается даже при выраженном отеке клетчатки (рис. 29).

#### 4. Выводы

1. Возраст пациента в сочетании с параметрами размеров является прогностически значимым признаком. Мы связываем это с формированием связочного аппарата Трейцевой связки и 12-перстной кишки, ростом самих внутренних органов ОБП и увеличением их абсолютных размеров, меняющих соотношение параметров аорты, верхней брыжеечной артерии и двенадцатиперстной кишки. В «чистом» виде артериомезентериальная компрессия двенадцатиперстной кишки встречается лишь у новорожденных.

2. У взрослых в механизме развития этого клинко-рентгенологического синдрома наблюдается прямо противоположная тенденция.

А именно: нарастание компрессии и вторичной дислокации верхней брыжеечной артерии, причиной которой являются другие (приобретенные) заболевания, вызывает усугубление клинических проявлений артериомезентериальной компрессии. Аналогично, в случаях смещение аорты кпереди на уровне отхождения верхней брыжеечной артерии, приводит к достоверному сужению угла между ею и верхней брыжеечной артерией и уменьшению расстояния на уровне прохождения 12-перстной кишки.

3. Все вышеизложенное позволяет нам считать, что развитию хронической дуоденальной недостаточности предшествует длительный период времени, когда клинические симптомы носят общий и неясный характер.

4. Считаю, что при обследовании пациентов с неясными симптомами болей в брюшной полости следует обязательно исследовать угол отхождения верхней брыжеечной артерии от аорты.

5. Мы предполагаем, что синдром сосудистой компрессии более распространен в человеческой популяции, чем это считается сейчас.

6. Степень выраженности жалоб, предъявляемых пациентами, напрямую зависит не столько от угла отхождения от аорты верхней брыжеечной артерии, сколько от расстояния между этими сосудами.

7. Относительно поздняя выявляемость этого синдрома (20-40 лет) свидетельствует о недостаточной осведомленности врачей общеклинической сети о структуре этой патологии и позднего направления на обследование.

8. Мы предлагаем учитывать возраст пациента как предиктор развития аорто-мезентериальной компрессии.

9. При взрослении у пациентов детского возраста в связи с увеличением абсолютного расстояния между сосудистыми структурами и совершенствованием связочного аппарата 12-перстной кишки можно ожидать уменьшение количества и остроты приступообразных болей в следствии АМК.

10. У пациентов старшей возрастной группы можно предполагать усугубление патологии.

**Список литературы:**

1. Van Horne N, Jackson JP. Superior Mesenteric Artery Syndrome. [Updated 2019 Jun 4]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2019 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482209>
2. Zhang ZA. Superior mesenteric artery syndrome: a vicious cycle. *BMJ Case Rep.* 2018 Oct 24;2018 [PMC free article] [PubMed].
3. Ehlers T.O., Tsamalaidze L., Pereira L., Stauffer J. Laparoscopic Duodenojejunostomy for the SMA Syndrome. *Zentralbl Chir.* 2018 Oct; 143(5): 461–463. [PubMed]
4. Hillyard J., Solomon S., Kaspar M., Chow E., Smallfield G. Gastrointestinal: Reversal of superior mesenteric artery syndrome following pregnancy. *J. Gastroenterol. Hepatol.* 2019 Mar; 34(3): 486. [PubMed]
5. Ganss A., Rampado S., Savarino E., Bardini R. Superior Mesenteric Artery Syndrome: A Prospective Study in a Single Institution. *J Gastrointest Surg.* 2019 May; 23: 997–1005. 10.1007/s11605-018-3984-6
6. FJ Bohanon, ONunez Lopez, BM Graham, LW Griffin, and RS Radhakrishnan. A Case Series of Laparoscopic Duodenojejunostomy for the Treatment of Pediatric Superior Mesenteric Artery Syndrome. *Int J Surg Res.* April, 2016; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27747293>
7. I. A. Maldonado Schoijet, A. Shetty, V. Narra, J. Heiken, C. SIEGEL, A. Rojas Astorga, E. Siña, D. Lazo, C. Varela; 1Santiago/CL, 2St. Louis/US, 3St. Louis, MO/US, 4Santiago, RM/CL Vascular compressions syndromes of the abdomen and pelvis on multi-detector computed tomography (MDCT); From the myth to the images. *Congress: ECR 2017 DOI: 10.1594/ecr2017/C-2317 P. 1–24.*
8. Daisuke Ueno, Ryota Urata, Kenshi Ono, Yu Sakaue, Yusuke Hori, Kenichi Yoshioka, Masakazu Kikai, Tetsuya Nomura, Natsuya Keira, Tetsuya Tatsumin: A Rare Case of Isolated Idiopathic Inferior Mesenteric Artery Dissection *American Journal of Case Reports* 2019; 20: 121–124.
9. So CY, Chan KY, Au HY, Chan ML, Lai T: Superior mesenteric artery (SMA) syndrome: an unusual cause of intestinal obstruction in palliative care. *Ann Palliat Med.* 2016, 6:91-93. 10.21037/apm.2016.07.03
10. Mathenge N., Osiro S., Rodriguez II., Salib C., Tubbs R.S., Loukas M.: Superior mesenteric artery syndrome and its associated gastrointestinal implications. *Clin Anat.* 2014, 27: 1244–1252. 10.1002/ca.22249
11. Lee TH, Lee JS, Jo Y, et al.: Superior mesenteric artery syndrome: where do we stand today? *J Gastrointest Surg.* 2012, 16: 2203–2211. 10.1007/s11605-012-2049-5
12. Stanley W. Ashley, Matthew T. Menard. Vascular Compression of the Duodenum. 2016. <https://basicmedicalkey.com/vascular-compression-of-the-duodenum/>
13. Falcone, Kevin L.; Garrett, Kevin O. (July 2010). "Superior Mesenteric Artery Syndrome After Blunt Abdominal Trauma: A Case Report". *Vasc Endovascular Surg.* 44(5): 410–412. doi: 10.1177/1538574410369390. PMID 20484075. Retrieved 17 November 2011.

14. Mohamed Maatouk, Sherif Monib, Osama Ahmed, Ahmed Ismail, Ahmed Mahrous, Khaled Shawky Superior mesenteric artery syndrome: A very rare condition, with difficult diagnosis, and successful management. *American Journal of Case Reports*. 2011; 12: 98–101.

15. Merrett ND, Wilson RB, Cosman P, Biankin AV: Superior mesenteric artery syndrome: diagnosis and treatment strategies. *J Gastrointest Surg*. 2009, 13: 287–292. 10.1007/s11605-008-0695-4

16. Kai-Hsiung Ko; Shih-Hung Tsai; Chih-Yung Yu; Guo-Shu Huang; Chang-Hsien Liu; Wei-Chou Chang. <http://www.biomedsearch.com/nih/Unusual-complication-superior-mesenteric-artery/19181598.html>

17. Тимербулатов Ш.В., Тимербулатов В.М., Абдуллин Р.С., Саргсян А.М. Артериомезентериальная дуоденальная компрессия. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2017. Том 12. № 4(70). С. 126–133.

18. Щербинина М.Б. [и др.] Синдром верхней мезентериальной артерии. *Сучасна гастроентерологія*. 2012. № 5. С. 76–82.

19. Карамуллина Э.Р. Артериомезентериальная компрессия двенадцати-перстной кишки (клинический случай). *Синергия наук*. 2017. № 16. С. 625–630. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article1055>

20. Тихон Н.М., Волкова М.П., Хмеленко А.В., Гринь А.И. Синдром верхней брыжеечной артерии. Клинический случай в педиатрической практике. *Вестник ВГМУ*. 2016. Том 15. № 6. С. 63–73.

21. Башир Р. Синдром верхней брыжеечной артерии; Новые достижения в области базовой и клинической гастроэнтерологии [w.intechopen.com](http://w.intechopen.com); 2012.

22. Реут А.А., Маркелов О.А., Щербатых А.В., Маркелов А.А. Артериомезентериальная компрессия (сообщение 1) [текст]. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 1998. № 1. С. 4–10.

23. Шугаев А.И., Вовк А.В. Острые нарушения артериального мезентериального кровообращения. *Вестник хирургии*. 2005. Т. 164. № 4. С. 112–115.

24. Тагер И.Л., Филиппкин М.А. Рентгенодиагностика заболеваний органов пищеварения у детей. Москва : «Медицина», 1974. С. 83–98, 120–126.

25. Šturdík I., Kužma M., Kužmová Z., Koller T., Javorka V., Hlavatý T., Payer J. [Hemosuccus pancreaticus – rare complication of chronic pancreatitis]. *Vnitr Lek*. 2016 Fall; 62(10): 833–836.

26. Larrey Ruiz L., Luján Sanchis M., Peño Muñoz L., Barber Hueso C., Cors Ferrando R., Durá Ayet A.B., Sempere García-Argüelles J. Pseudoaneurysm associated with complicated pancreatic pseudocysts. *Rev Esp Enferm Dig*. 2016 Sep; 108(9): 583–5.

27. Dr Tom Foster and Dr Donna D’Souza et al. False aneurysm. URL: <https://radiopaedia.org/articles/false-aneurysm?lang=us>

28. George Mathew; Hira Ahmad. Pancreatic Pseudoaneurysm. *StatPearls*. Last Update: January 12, 2019. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430937/>

29. Teixeira, P., Magee, G. & Rowe, V. (2020). Abdominal Aorta and Splachnic Vessels. In D. Demetriades, K. Inaba & G. Velmahos (Eds.), *Atlas of Surgical Techniques in Trauma* (pp. 268–285). Cambridge: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781108698665.033

### References:

1. Bashir, R. (2012). Sindrom verkhney bryzhechnoy arterii. Novye dosti-zheniya v oblasti bazovoy i klinicheskoy gastroenterologii [Superior mesenteric artery syndrom. New developments in basic and clinical gastroenterology], IntechOpen.
2. Bohanon, F. J., Nunez Lopez, O., Graham, B. M., Griffin, L. W. & Radhakrishnan, R. S. (2016). A Case Series of Laparoscopic Duodenojejunostomy for the Treatment of Pediatric Superior Mesenteric Artery Syndrome. *Int J Surg Res*, 2016 (Suppl 1), 1–5.
3. D'Souza, D. False aneurysm: Radiology Reference Article. Accessed at 15.05.2020. URL: <https://radiopaedia.org/articles/false-aneurysm?lang=us>
4. Ehlers, T. O., Tsamalaizde, L., Pereira, L., & Stauffer, J. (2018). Laparoscopic Duodenojejunostomy for the SMA Syndrome. *Zentralbl Chir*, 143(5), 461–463.
5. Falcone, J. L., & Garrett, K. O. (2010). Superior Mesenteric Artery Syndrome After Blunt Abdominal Trauma: A Case Report. *Vascular and Endovascular Surgery*, 44(5), 410–412. <https://doi.org/10.1177/1538574410369390>
6. Ganss, A., Rampado, S., Savarino, E. & Bardini, R. (2018). Superior Mesenteric Artery Syndrome: a Prospective Study in a Single Institution. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 23 (5), 997-1005. <https://doi.org/10.1007/s11605-018-3984-6>
7. Hillyard, J., Solomon, S., Kaspar, M., Chow, E., & Smallfield, G. (2019). Gastrointestinal: Reversal of superior mesenteric artery syndrome following pregnancy. *J. Gastroenterol. Hepatol.*, 34(3), 486.
8. Karamullina, E. R. (2017). Arteriomezenterial'naya kompressiya dvenadt-satiperstnoy kishki (klinicheskiy sluchay) [Aortomesenterial compression of duodenum (clinical case)] *Science Synergy*, (16), 625–630. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article1055>
9. Ko, K.-H., Tsai, S.-H., Yu, C.-Y., Huang, G.-S., Liu, C.-H. & Chang, W.-C. (2009). Unusual complication of superior mesenteric artery syndrome: spontaneous upper gastrointestinal bleeding with hypovolemic shock. *J Chin Med Assoc*, 72(1), 45–7. <http://www.biomedsearch.com/nih/Unusual-complication-superior-mesenteric-artery/19181598.html>
10. Larrey Ruiz, L., Luján Sanchis, M., Pen̄o Mun̄oz, L., Barber Hueso, C., Cors Ferrando, R., Dur̄a Ayet, A. B. & Sempere Garcia-Argūelles, J. (2016). Pseudoaneurysm associated with complicated pancreatic pseudocysts. *Rev Esp Enferm Dig*, 108(9), 583–5.
11. Lee, T. H., Lee, J. S., Jo, Y., Park, K. S., Cheon, J. H., Kim, Y. S., Jang, J. Y. & Kang, Y. W. (2012). Superior Mesenteric Artery Syndrome: Where Do We Stand Today? *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 16(12), 2203–2211. <https://doi.org/10.1007/s11605-012-2049-5>
12. Maatouk, M., Monib, S., Ahmed, O., Ismail, A., Mahrous, A. & Shawky, K. (2011). Superior mesenteric artery syndrome: a very rare condition, with difficult diagnosis, and successful management. *The American Journal of Case Reports*, 12, 98–101.
13. Maldonado Schoijet, I. (2017). Vascular compressions syndromes of the abdomen and pelvis on multi-detector computed tomography (MDCT); From the myth to the images. <https://doi.org/10.1594/ECR2017/C-2317>
14. Mathenge, N., Osiro, S., Rodriguez, I. I., Salib, C., Tubbs, R. S. & Loukas, M. (2013). Superior mesenteric artery syndrome and its associated gastrointestinal implications. *Clinical Anatomy*, 27(8), 1244–1252. <https://doi.org/10.1002/ca.22249>



15. Mathew, G. & Bhimji, S. S. (2018). Pancreatic Pseudoaneurysm, в StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
16. Merrett, N. D., Wilson, R. B., Cosman, P. & Biankin, A. V. (2008). Superior Mesenteric Artery Syndrome: Diagnosis and Treatment Strategies. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 13(2), 287–292. <https://doi.org/10.1007/s11605-008-0695-4>
17. Reut, A. A., Markelov, O., Shcherbatykh, A. V. & Markelov, A. (1998). Arterio–mezenterial'naya kompressiya (soobshchenie 1) [Aortomesenterial compression (publication 1)] *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*, 12(1).
18. Shcherbinina, M., Gladun, V., Kozhan, S., Semashko, A. & Feshchenko, S. (2012). Sindrom verkhney mezenterial'noy arterii [Superior mesenteric artery syndrome]. *Suchasna gastroenterologiya*, (5).
19. Shugaev, A. & Vovk, A. (2005). Ostrye narusheniya arterial'nogo mezenterial'nogo krovoobrashcheniya [Acute diseases of arterial mesenterial circulation]. *Vestnik khirurgii*, 164(4), 112–115.
20. So, C.-Y., Chan, K.-Y., Au, H.-Y., Chan, M.-L. & Lai, T. (2017). Superior mesenteric artery (SMA) syndrome: an unusual cause of intestinal obstruction in palliative care. *Annals of Palliative Medicine*, 6(1), 91–93. <https://doi.org/10.21037/apm.2016.07.03>
21. Sturdik, I., Kuzma, M., Kuzmova, Z., Koller, T., Javorka, V., Hlavat, T. & Payer, J. (2016). Hemosuccus pancreaticus-rare complication of chronic pancreatitis. *Vnitri lekarstvi*, 62 (10), 833-836.
22. Tager, I. & Filippkin, M. (1974). Rentgenodiagnostika zabolevaniy organov pishchevareniya u detey [Radiology diagnostics of gastrointestinal tract in children]. *Medsitsina*, pp. 83–98, 120–126.
23. Teixeira, P. G., Magee, G. A. & Rowe, V. L. (2019). Abdominal Aorta and Splachnic Vessels, в Atlas of Surgical Techniques in Trauma. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108698665.033>
24. Themes, U. (2016). Vascular Compression of the Duodenum. <https://basic-medicalkey.com/vascular-compression-of-the-duodenum/>
25. Tikhon, N., Volkova, M., Khmelenko, A. & Grin', A. (2016). Sindrom verkhney bryzhechnoy arterii. Klinicheskiy sluchay v pediatricheskoy praktike. [Superior mesenteric artery syndrome. Clinical case in pediatry]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 15(6).
26. Timerbulatov, Sh., Timerbulatov, V., Abdullin, R. & Sargsyan, A. (2017). Arteriomezenterial'naya duodenal'naya kompressiya [Aortomesenterial duodenal compression]. *Medsitsinskiy vestnik Bashkortostana*, 12(4(70)).
27. Ueno, D., Urata, R., Ono, K., Sakae, Y., Hori, Y., Yoshioka, K., Kikai, M., Nomura, T., Keira, N. & Tatsumi, T. (2019). A Rare Case of Isolated Idiopathic Inferior Mesenteric Artery Dissection. *The American journal of case reports*, 20, 121.
28. Van Horne, N. & Jackson, J. P. (2019). Superior mesenteric artery syndrome, в StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482209>
29. Zhang, Z. A. (2018). Superior mesenteric artery syndrome: a vicious cycle. *BMJ Case Reports*, bcr–2018-226002. <https://doi.org/10.1136/bcr-2018-226002>

**X-RAY TOMOGRAPHIC PICTURE  
OF HODGKIN'S DISEASE**

**РЕНТГЕНО-ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТИНА  
БОЛЕЗНИ ХОДЖКИНА**

**Viktor Sokolov<sup>1</sup>**

**Alexander Korsun<sup>2</sup>**

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-49>

**Abstract.** Described for the first in 1832, Hodgkin's lymphoma represents 4% of all newly diagnosed malignant tumors in Ukraine. The incidence rate is 2.4 per 100,000 population / year and constitutes 1% of all malignant neoplasms. The incidence rate is higher in men (1.4: 1) and two peaks of morbidity of aged 15-30 and older than 55 are recorded. AIDS patients are 8 times more prone to disease. Lymphogranulomatosis (LGM) is an intermediary between cancer in non-infected patients and systemic blood diseases, therefore requires a special approach in treatment. In recent years clinical medicine has had remarkable success in treating patients with close illnesses; but the results of treatment depend largely on early diagnosis. If the disease is detected at an early stage, a complete cure is possible.

The main objectives of CT studies in the prevention, diagnosis and treatment of lymphoproliferative diseases:

1. Primary diagnosis of isolated forms;
2. Stages 1 to 4 [2] (B-systemic symptoms, E-extranodal lesion);
3. Evaluation of treatment results;
4. Control of relapses;
5. Monitoring the state of residual mass.

Most affected with Hodgkin's lymphoma are the mediastinal lymph nodes (60%), less commonly are cervical, bronchopulmonary (20%) and at hilum.

---

<sup>1</sup> Professor, Chief Department of Radiation Diagnostics, Therapy and radiation Medicine, Odessa National Medical University, Ukraine

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Radiation Diagnostics, Therapy and radiation Medicine, Odessa National Medical University, Ukraine



We conducted a study to identify the primary location of the lesion and determine its involvement in the pathological process in 156 patients with HL. The mean age of the patients was 60. Studies have been conducted with a duration of the disease of several months to 10 years. The stages of the disease have been evaluated according to the principles of international classification.

The studies were conducted using “Toshiba Asteion Super-4” 4-slice computed tomography scanner, “Toshiba Aquilion 64” 64-slice CT scanner, “Philips Intera 1,5T” MRI. In nearly all patients, the data obtained have been confirmed. In all patients, abdominal organs and retroperitoneal space were examined. Examinations were repeatedly conducted: before and after chemoradiotherapy. In most patients, the diagnoses were histologically confirmed.

### 1. Вступление

Впервые описанная в 1832 г. лимфома Ходжкина составляет 4% среди всех впервые выявляемых злокачественных опухолей в Украине. Частота заболеваемости 2,4 на 100 000 населения/год и составляет 1% всех злокачественных новообразований. Мужчины болеют чаще (1,4:1) и существует два пика заболеваемости возраст 15-30 и старше 55 лет. Пациенты, пациенты со СПИДом, заболевают в 8 раз чаще. Лимфогранулематоз (ЛГМ) занимает промежуточное положение между раком у не инфицированных пациентов[1] и системными болезнями крови и требует особого подхода к лечению. Клиническая медицина в последние годы добилась выдающихся успехов в области лечения больных с подобными заболеваниями, однако результаты лечения в значительной мере зависят от ранней диагностики. При выявлении заболевания на ранней стадии возможно полное излечение.

Основные задачи КТ исследований в профилактике, диагностике и лечении лимфопролиферативных заболеваний:

1. Первичная диагностика изолированных форм.
2. Стадирование 1-4 [2] (В-системные симптомы, Е-экстранодальное поражение).
3. Оценка результатов лечения.
4. Контроль рецидивов.
5. Контроль состояния остаточных масс.

По данным литературы [3], при лимфоме Ходжкина Наиболее часто поражаются лимфатические узлы медиастинальные (60%), шейные, реже бронхопульмональные (20%) и корневые.

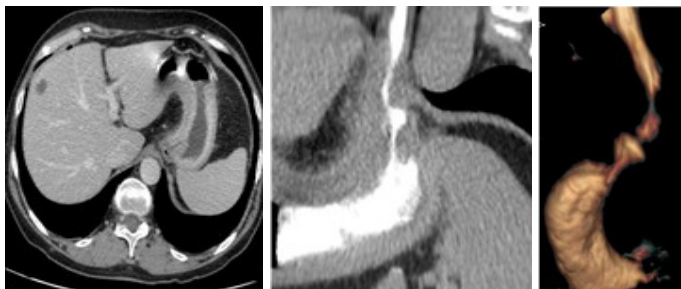
Нами было проведено исследование для выявления первичной локализации поражения и определение его вовлечения в патологический процесс у 156 больных с НХЗЛ. Средний возраст обследованных пациентов 60. Исследования были проведены с длительностью заболевания от нескольких месяцев до 10 лет. Стадии заболевания оценивались по принципам международной классификации [2].

Исследования были проведены на 4-х срезовом компьютерном томографе Toshiba Asteion Super-4, 64-х срезовом КТ Toshiba Aquilion 64, МРТ Philips Intera 1,5Т. Практически у всех пациентов заключения были верифицированы. У всех больных обследовались органы брюшной полости, забрюшинного пространства. Обследования проводились многократно: до и после химиолучевой терапии. У большинства пациентов диагнозы верифицировались гистологически.

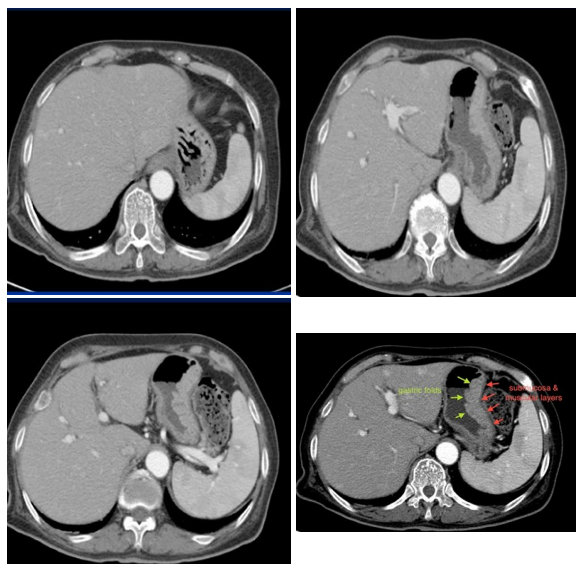
## **2. Результаты исследования**

Первичный опухолевый очаг при НХЗЛ развивается в любом органе, содержащем лимфоидную ткань, и чаще всего, возникает в лимфатических узлах – 48,2%, реже в других органах: в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) – 13,8%, в кольце Вальдейера – 9,2%, в костях – 8,6%, в коже -7,4%, в в мягких тканях – 3%. Частота экстранодальных поражений (печень, селезенка, поджелудочная железа, почки, надпочечники варьирует в широких пределах: от 4,1% до 48%). КТ картина экстранодальных проявлений при НХЗЛ разнообразна и не всегда имеет весь комплекс характерных признаков.

Вместе с тем, сочетание поражения отдельных органов и увеличение лимфоузлов всегда характерно для неходжкинских лимфом [1; 4]. Так, например, при компьютерно-томографическом исследовании желудка при КТ-исследовании локальные и диффузные формы НХЗЛ выявлялись на срезах в виде утолщения (более 8 мм) и деформации стенок, как по наружному, так и по внутреннему контурам. При этом поражение желудка не всегда сопровождалось регионарной лимфоаденопатией, а чаще всего в области ворот желудка и печени определялись множественные мелкие пакеты увеличенных лимфоузлов до 6-8 мм в диаметре (рис. 1, 2).



*Рис. 1. На серии сканов выраженная инфильтрация слизистой оболочки и подслизистого слоя абдоминального отдела пищевода, кардиального и субкардиального отделов желудка с утолщением их. В биоптате после ЭФГДС данные в пользу MALT-лимфомы*



*Рис. 2. На серии КТ определяется утолщение слизистой оболочки желудка, четко прослеживается граница слизистой от интактного, тонкого и ровного подслизистого и мышечного слоя. Эндоскопия-злокачественная лимфома*

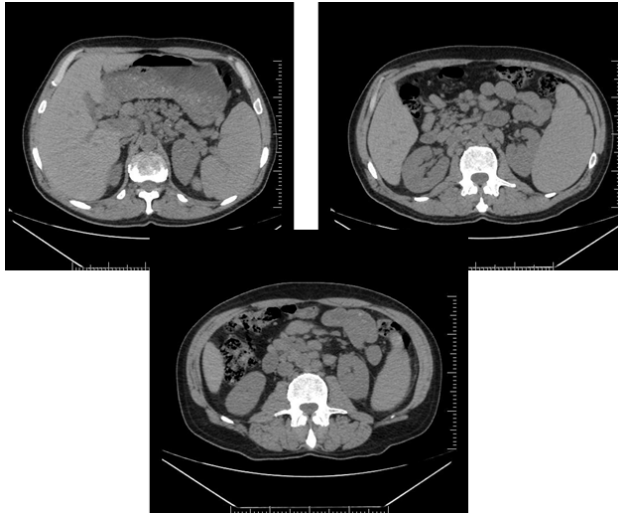
При поражении печени гепатомегалия обнаруживалась практически у всех больных обследуемой группы. В 60% больных в печени выявлены очаговые изменения. Визуализировались как единичные

так и множественные гипоинтенсивные очаги различного диаметра, чаще всего с нечеткими контурами. Плотность печени снижалась до 40-45 Ед.Н (при норме 55-60 Ед.Н).

Увеличивается в размерах также селезенка. В структуре селезенки определялись очаги разных размеров от 0.5-2.0 см до более крупных. Поверхность селезенки становилась бугристой.



*Рис. 3. Выраженная спленомегалия с многоочаговой инфильтрацией паренхимы селезенки, перилиенального пространства и брюшной стенки. Увеличение паховых лимфоузлов с двух сторон*



*Рис. 4. Умеренная спленомегалия и поражение забрюшинных лимфоузлов и лимфоузлов ворот печени*

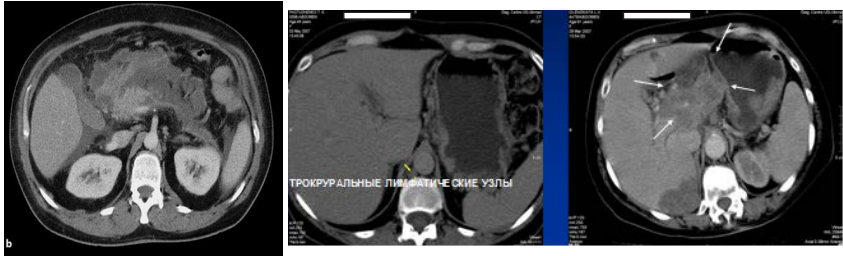
Значительно увеличивалась группа внутрибрюшных лимфоузлов (>1.5-2.0 см). Чаще всего они образовывали крупные конгломераты, которые располагались у ворот печени, селезенки, в парапанкреатической клетчатке, вдоль крупных сосудистых структур аорты, нижней полой и воротной вен (рис. 3, 4).

Пакеты л/узлов определялись также в области надпочечников и почек. При в/в контрастировании л/узлы слабо накапливали контраст. В отдельные л/узлах отмечались участки некроза, не накапливающие контраст. Иногда конгломераты л/узлов визуализировались как опухолевидное образование с бугристой поверхностью или с участками разрыхленных крупных конгломератов, что приводило к заметному смещению и сдавливанию сосудов брюшной полости, желудка, кишечника, мочевого пузыря. Важно подчеркнуть, что КТ позволяет выявить наиболее измененные л/узлы, определить их глубину, залегание и точное расположение, отношение к другим органам, что дает возможность более целенаправленно осуществлять локальную лучевую терапию, следить за ее эффективностью

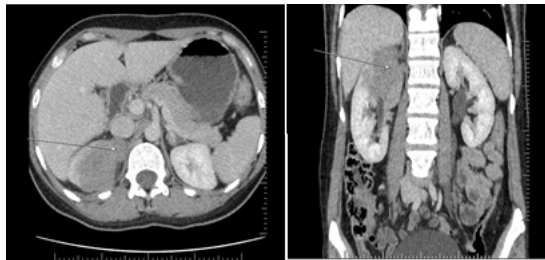
Поражение поджелудочной железы напоминает поражение при хроническом панкреатите, но при лимфомах отмечается накопление контраста в зоне локализации опухолевого конгломерата с наличием тонкого ободка вокруг (рис. 5) [5; 6; 7]. Иногда повышение плотности отмечалось и всей ткани поджелудочной железы, что указывало на длительный прием цитостатических препаратов. Высокоэффективным методом оказалось КТ при вторичном поражении надпочечников у больных с НХЗЛ. При этом отмечалось увеличение размеров надпочечников, либо появление очаговых образований.

Высокоэффективным методом оказалось КТ при вторичном поражении надпочечников у больных с НХЗЛ. При этом отмечалось увеличение размеров надпочечников, либо появление очаговых образований. Специфические поражения почек наблюдались в незначительном проценте пациентов. При этом обнаруживалось увеличение размеров органа, либо определялись очаги, различные по плотности. Зачастую вблизи пораженного органа регистрировались увеличенные лимфоузлы.

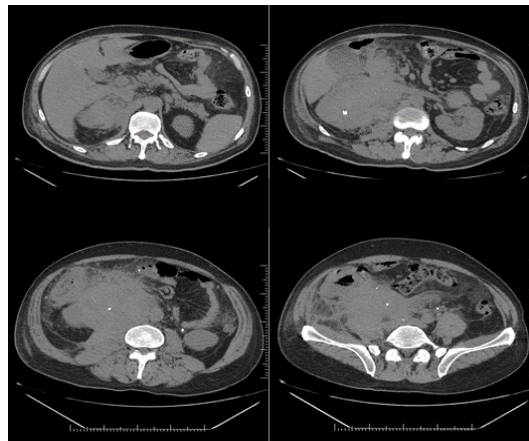
Более четко КТ дает возможность выявить опухолевое поражение кишечника [8]. Лимфома кишечника представляет собой неод-



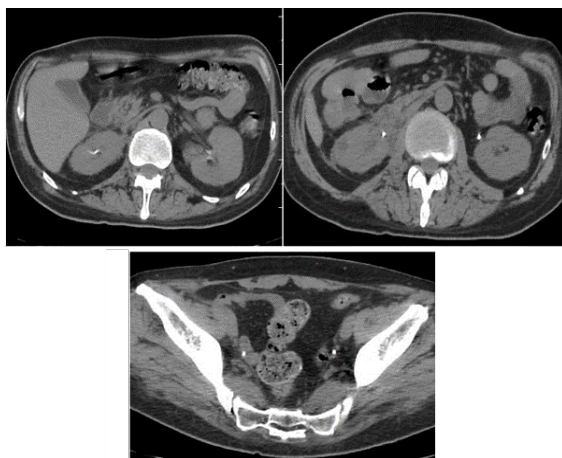
*Рис. 5. Поражение поджелудочной железы*



*Рис. 6. После внутривенного болюсного контрастирования в верхнем сегменте правой почки массивный участок лимфоидной инфильтрации с нечеткими контурами, не накапливающий контрастное вещество, распространяющийся в перилиенальное пространство*

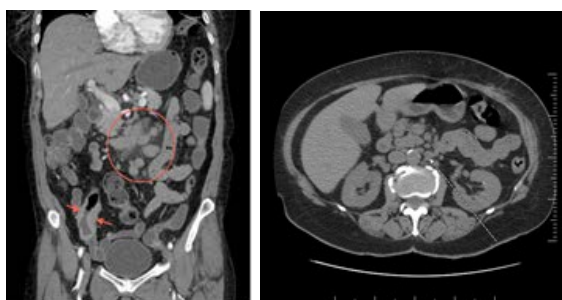


*Рис. 7. Тот же пациент после курса химиотерапии через 3 недели*



*Рис. 8. На серии КТ отмечается массивная пролиферация лимфоидной ткани забрюшинного пространства, полости таза и подвздошной области справа, а также солидное мягкотканное образование периренального пространства слева*

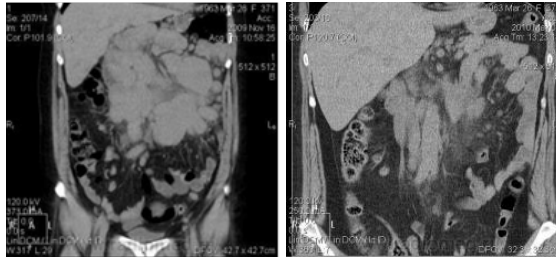
нородное образование различных размеров и плотности. Она развивается из лимфоидной ткани подслизистого слоя стенки кишки, прорастает в слизистую оболочку с образованием язв и также может прорасти в серозную оболочку. Поскольку лимфома характеризуется местным инвазивным ростом, она часто метастазирует в регионарные лимфатические узлы, затем в селезенку и более отдаленные области (рис. 9).



*Рис. 9. Увеличение лимфоузлов брыжейки, поражение слепой кишки и увеличение забрюшинных лимфоузлов*

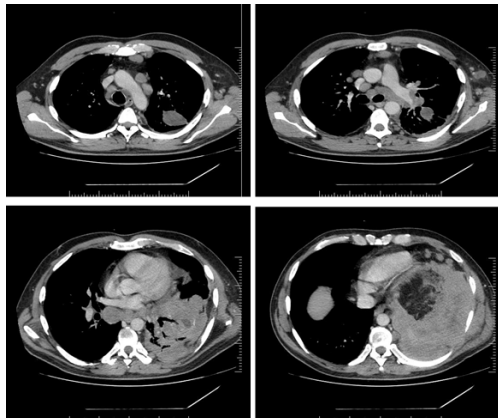


В ходе обследования пациентов с НХЗЛ определялась эффективность проводимой терапии. Нами было установлено, что 1/3 пациентов достаточно было 2-3 курсов химиотерапия для уменьшения л/узлов. Однако, в целом необходимо проводить 5-6, а иногда и 8 курсов химиотерапии, а некоторым пациентам проводить локальную лучевую терапию (рис. 10).



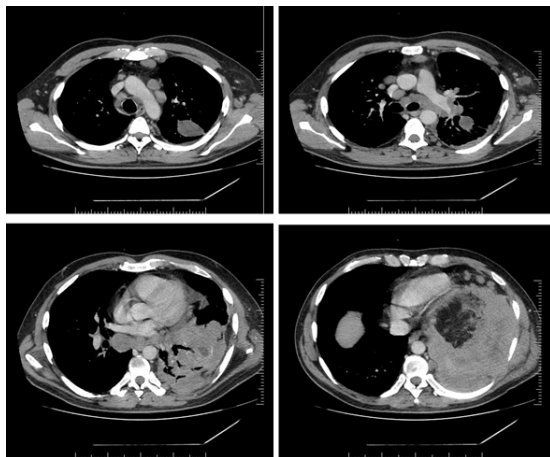
*Рис. 10. Состояние лимфоузлов до и после курса лучевой терапии*

При НХЗЛ в опухолевый процесс может вовлекаться плевра. Чаще всего скопление жидкости в плевральной полости, наблюдается у пациентов с часто рецидивирующим процессом и генерализацией опухолевого процесса. Кроме того, жидкость может наблюдаться в перикарде (рис. 11, 12).

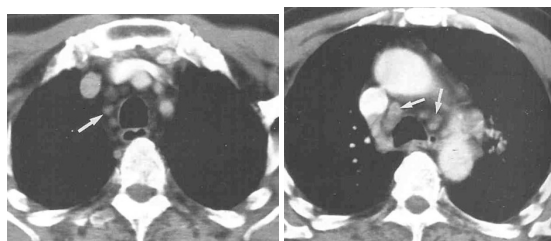


*Рис. 11. Распространенный лимфопролиферативный процесс грудной клетки с контактным поражением плевры, легких, лимфоузлов средостения и левой аксиальной области, перикарда*

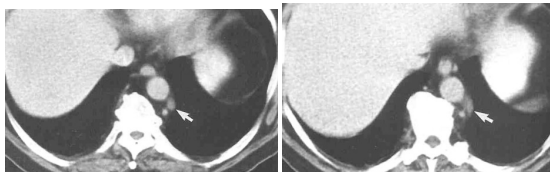




**Рис. 12.** Тот же пациент - поражение диафрагмы, желудка, пищевода, тонкой и толстой кишки, брюшной стенки. Состояние после спленэктомии и резекции кишечника. При этом следует обратить внимание на наличие увеличенных л/узлов в средостении и на специфическое поражение легочной ткани [1]. Наличие жидкости в плевре и перикарде говорит о плохом прогнозе. У пациентов НХЗЛ в брюшной полости также нередко определяется асцитическая жидкость

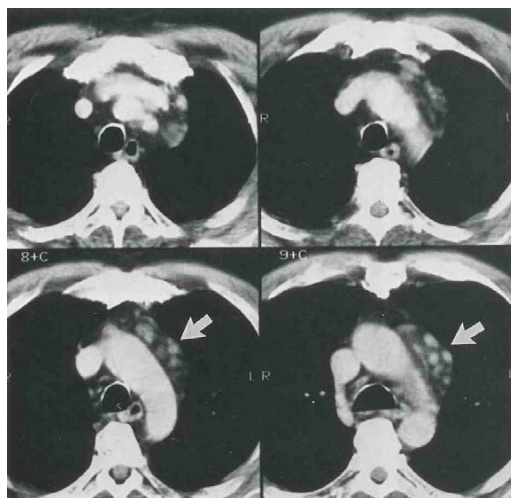


**(а)** Паратрахеальные л/у

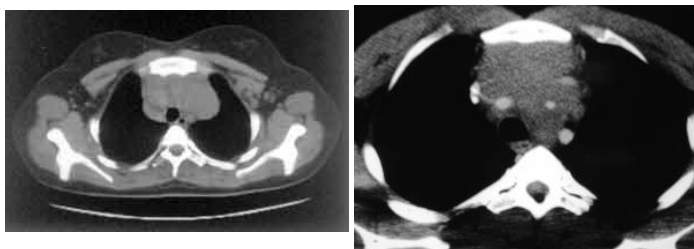


**(б)** Ретрокуральные л/у

**Рис. 13.** Лимфома Ходжкина



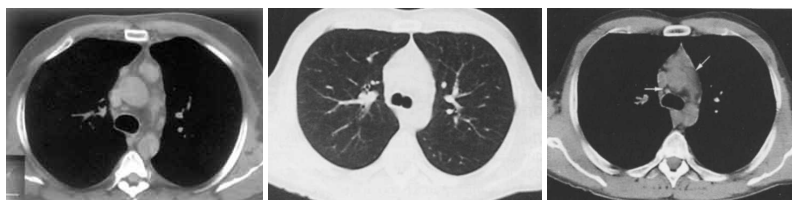
*Рис. 14. Лимфома Ходжкина. Увеличенные периваскулярные л/у*



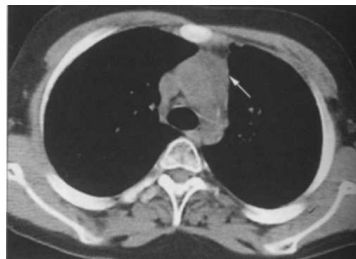
*(a) КТ без усиления.  
Конгломерат ретростеральных л/у.*

*(b) КТ с усилением.  
Переднее средостение*

*Рис. 15. Лимфома Ходжкина*



*Рис. 16. Лимфома Ходжкина: (a) Преваскулярные лимфоузлы; (b) медиастинальная форма (<легочный> режим); (c) Медиастинальная форма верхнее средостение. Множество увеличенных л/у (мягкотканый режим)*



*Пакет лимфоузлов плохо дифференцируемых между собой (между дугой аорты и медиастинальной плеврой)*



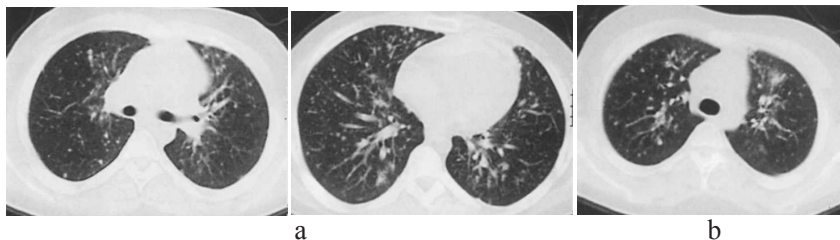
*(a) медиастинальная форма, верхнее средостение*

*Рис. 17. Лимфома Ходжкина*



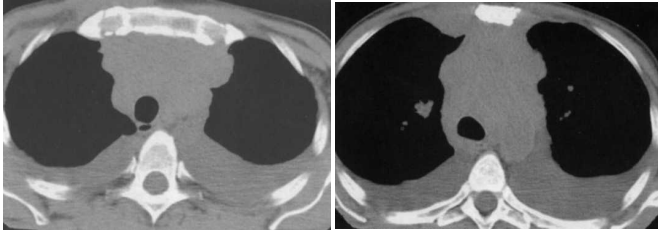
*(a) Паратрахеальные лимфатические узлы; (b) Бронхопульмональные л/у; (c) Трахеобронхиальные и бифуркационные лимфатические узлы с компрессией и деформацией трахеи (средостение расширено)*

*Рис. 18. Лимфома Ходжкина*

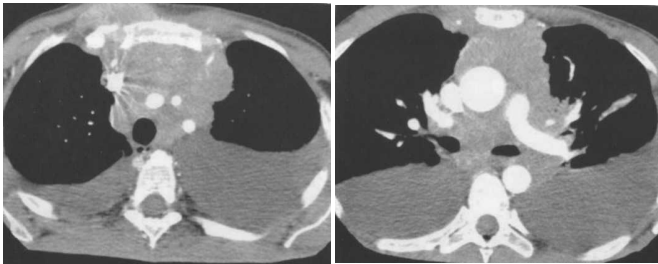


*(a) Увеличенные, с тенденцией к слиянию медиастинальные л/у, гранулемы в легочной ткани; (b) Легочный рисунок усилен, деформирован. В легких множество мелкоочаговых образований округлой формы мягкотканой плотности с четкими ровными контурами.*

*Рис. 19. Лимфома Ходжкина. Медиастинально-легочная форма*



*Рис. 20. Лимфома Ходжкина. Нативная КТ*



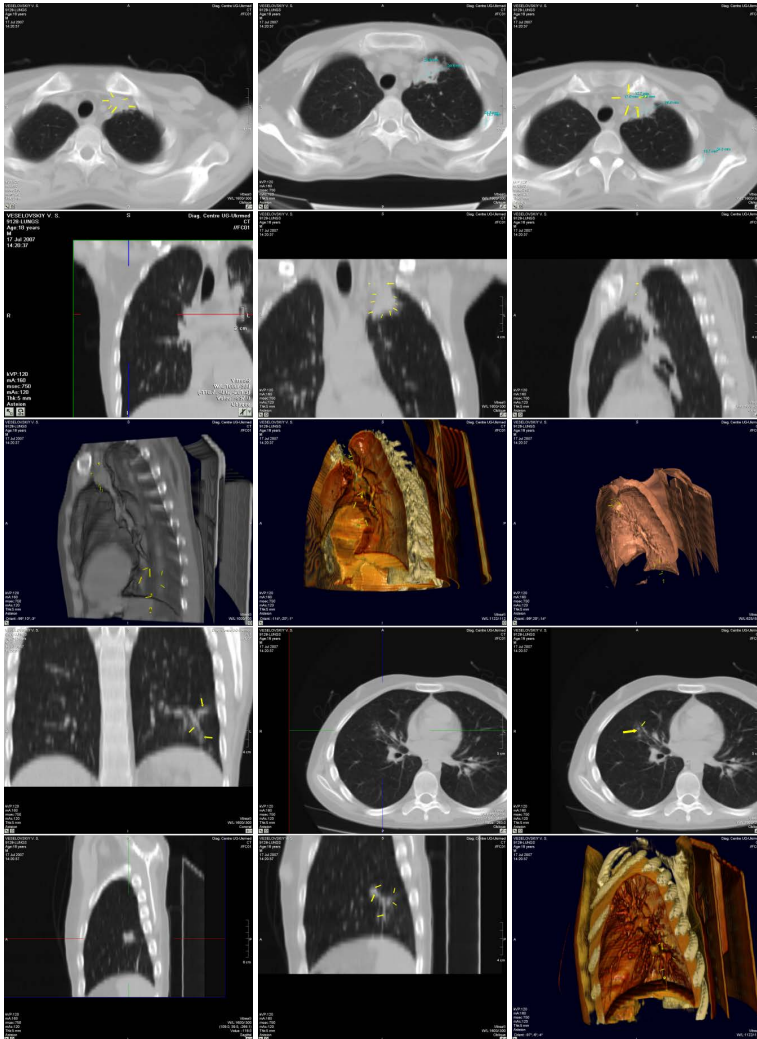
*Рис. 21. Лимфома Ходжкина. МСКТ – ангиография.  
Распространение новообразования на переднее,  
среднее и заднее средостение*



*Рис. 22. Пациентка К., 55 лет. Диагноз: Ср ЩЖ, Пер.-ср. зоб*

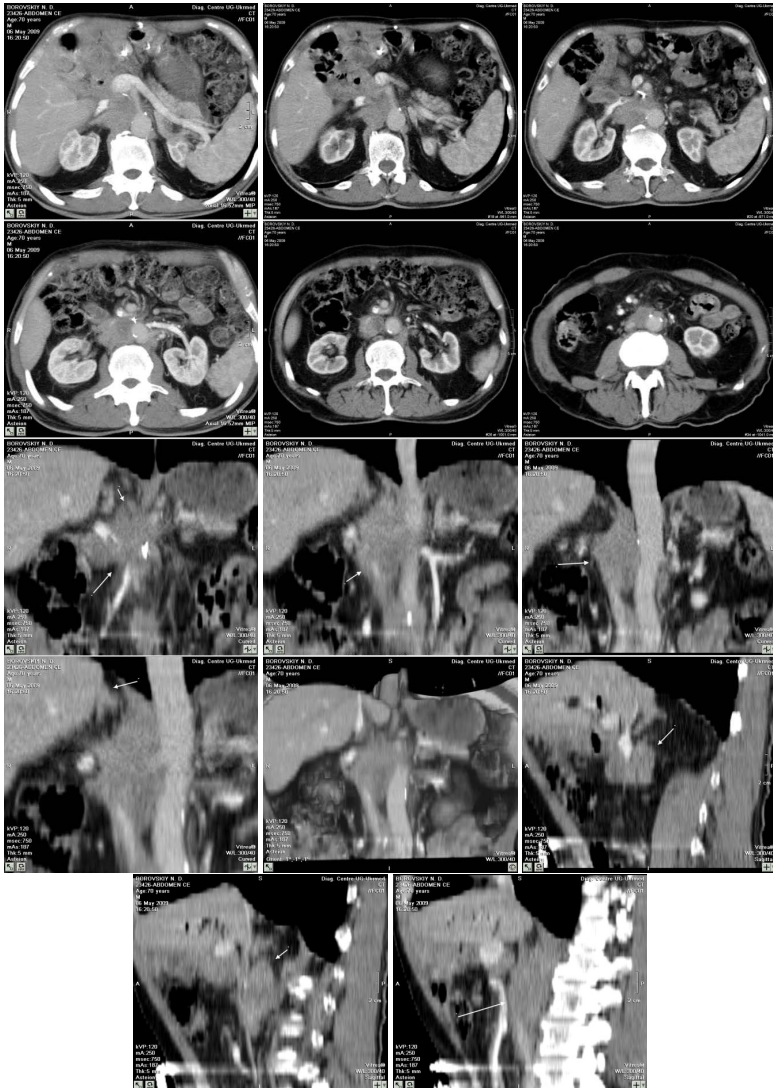
Полученные данные: Большая неоднородная хорошо ограниченная масса в переднем средостении с областями обызвествления.

Дифф. диагноз: Тимома и Тератома



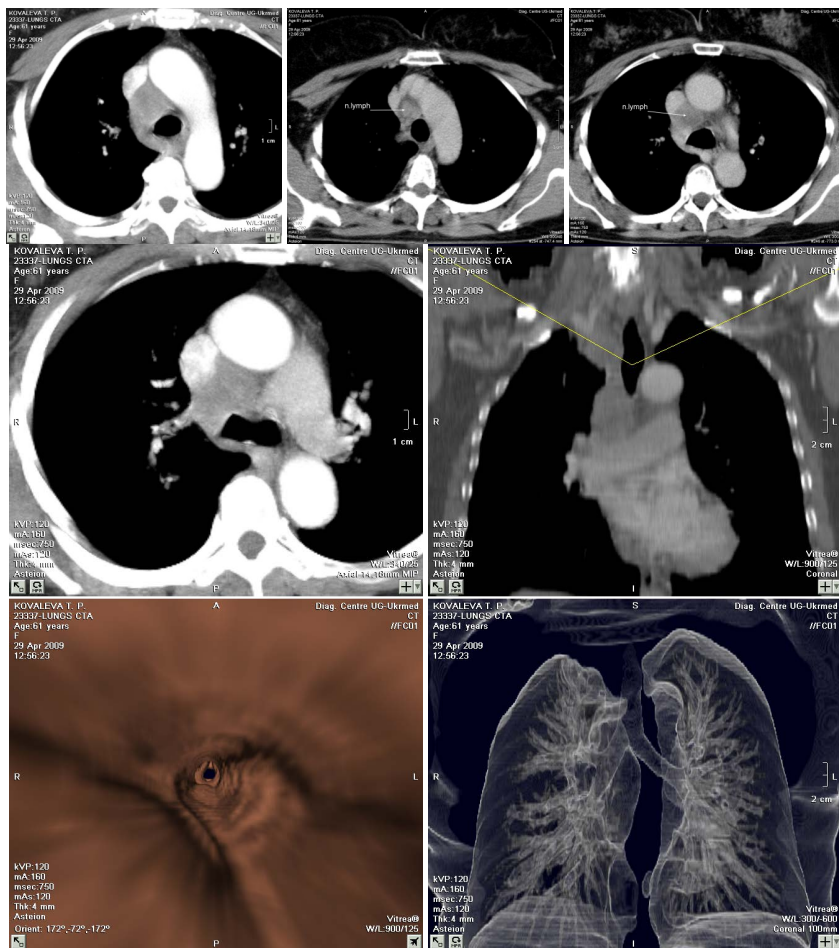
*Рис. 23. Лимфома Ходжкина. После 9 сеансов химио-лучевой терапии*

Медиастинально-легочная форма. Наличие остаточных масс.  
Виртуальная реконструкция. Фиброзные тяжи в легочной ткани  
(постлучевой синдром)



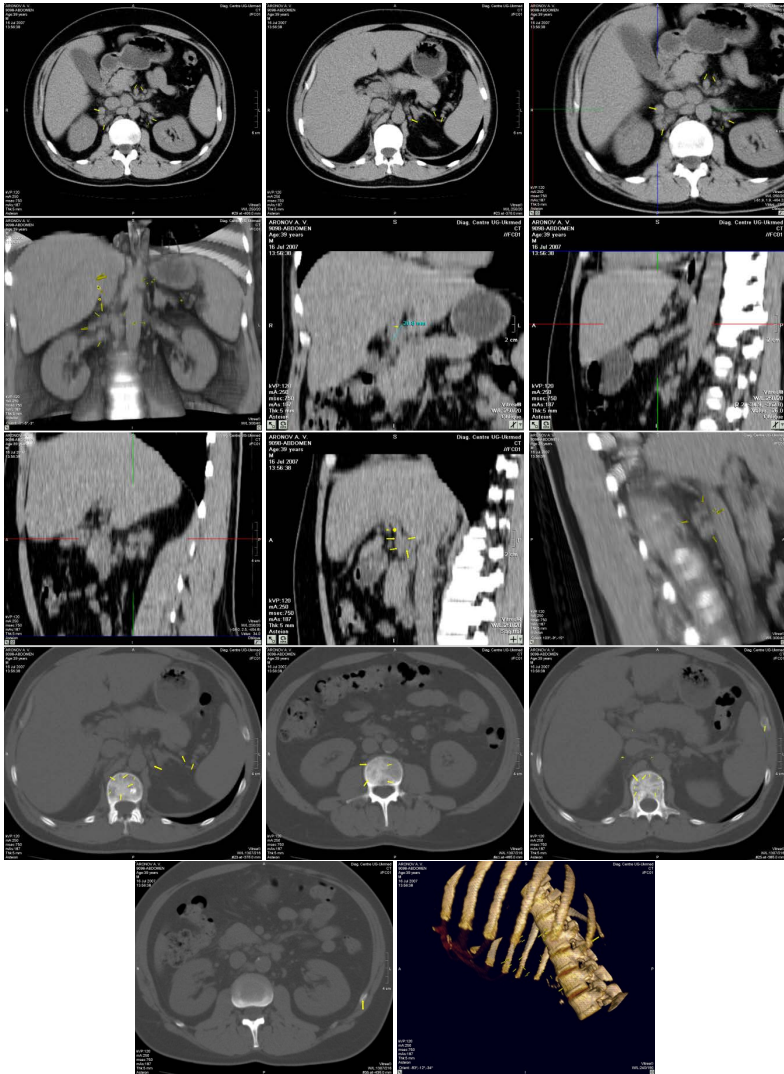
*Рис. 24. Лимфаденопатия в области удаленного новообразования головки поджелудочной железы. Увеличение л/у верхней поясничной группы  
Аксиальная и косая корональная реконструкция*





- (a) Виртуальная бронхоскопия. Признаки компрессии трахеи  
 (b) Объемная реконструкция в режиме воздушной ткани.

**Рис. 25.** Увеличенные л/у аортального окна  
 (гомогенное мягкотканое образование).  
 Рак верхушки легкого опухоль Панкоста.  
 Компрессионный синдром

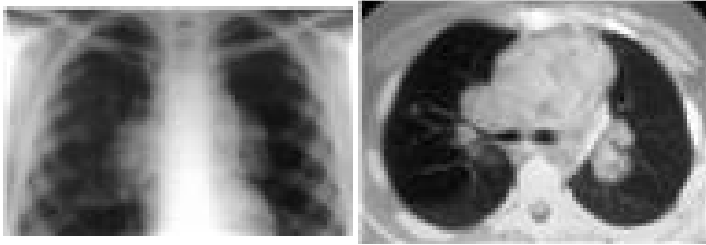


*Рис. 26. Лимфома Ходжкина (контроль после химио-лучевой терапии). Увеличены поясничные и межкишечные группы л/у. Конгломераты увеличенных л/у в области нижней полой вены и парааортально. Очаги деструкции смешанного типа в телах позвонков и в ребрах*

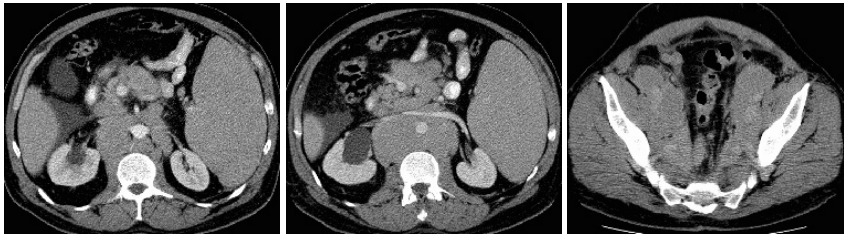




*Рис. 27. Лимфома Ходжкина.  
Поражение забрюшинных и ретрокуральных л/у*



*Рис. 28. Рентгенография ОГК – первичный метод исследования при болезни Ходжкина, на котором выявляется корневая и средостенная лимфаденопатия у 60% пациентов, иногда с компрессией или смещением трахеи*



*Рис. 29. Больной М., 72 лет. Диагноз: Низкодифференцированная злокачественная лимфома. Полученные данные: спленомегалия, асцит. Обширное поражение брюшных, тазовых и парааортальных лу, вовлекающее в процесс н.полую вену и мочеточники, распространяющееся в таз с вовлечением обеих подвздошных областей. Гидронефроз справа*



*Рис. 30. Мужчина 65 лет Диагноз: Неходжкинская лимфома, вдавление сигмы в селезенку, кишечно-пузырная фистула*

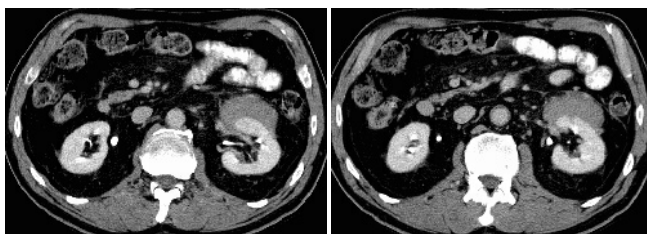
Селезенка увеличена (вдавление петли сигмовидной кишки). В малом тазу образование пониженной плотности 11 x 10 см, содержащее некротические массы Асцит. Ретрокуральная и парааортальная лимфаденопатия.

В сигме и в мочевом пузыре – наличие газа. Фистула диагностируется по косвенным признакам: свободная жидкость в малом тазу, в мочевом пузыре и в сигме.



*Рис. 31. Мужчина 65 лет. Диагноз: Неходжжинская лимфома, вдавление сигмы в селезенку, кишечно-пузырная фистула*

Селезенка увеличена (вдавление петли сигмовидной кишки). В малом тазу образование пониженной плотности 11 x 10 см, содержащее некротические массы. Асцит. Ретрокруральная и парааортальная лимфоаденопатия. В сигме и в мочевом пузыре – наличие газа. Фистула диагностируется по косвенным признакам: свободная жидкость в малом тазу, в мочевом пузыре и в сигме.

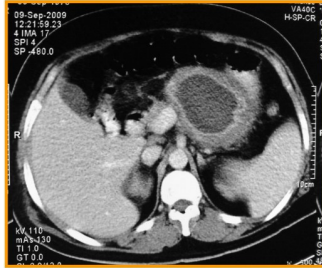


*Рис. 32. Диагноз: высокодифференцированная В-клеточная паранефральная лимфома. По передней поверхности левой почки отмечается наличие мягкотканого компонента размерами 2,4см п/з х 6,0см к/к. В аорте кольцевидный тромб*

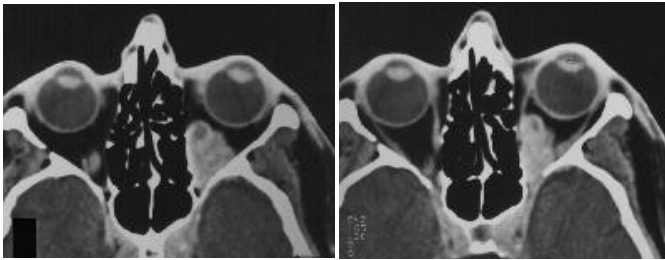
Неходжжинская лимфома поджелудочной железы может выглядеть на КТ, как одна из следующих форм:

1. Диффузное увеличение ПЖ.
2. Диффузное увеличение ПЖ с множественными гиподенсными массами.

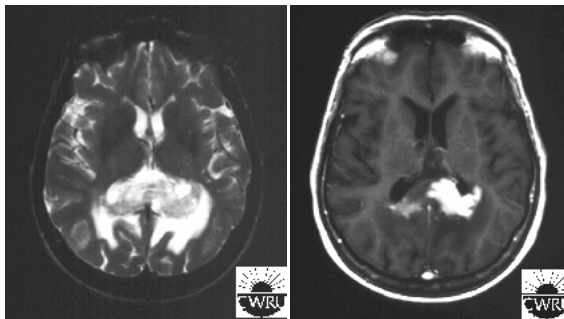
3. Мягко-тканная масса с четким контуром.
4. Масса с кистозной областью в центре и уплотнением по контуру (рис. 33).



*Рис. 33. Лимфома поджелудочной железы (ЛПЖ). Гистологически подтвержденная НХЛ поджелудочной железы; крупноклеточный вид*

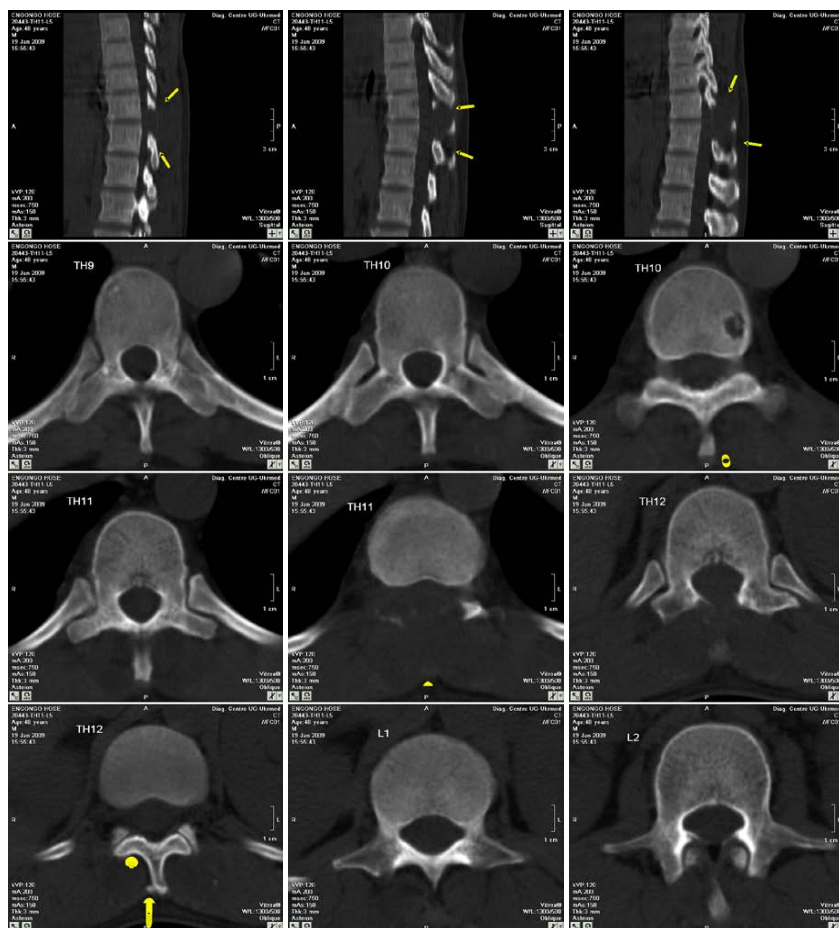


*Рис. 34. Лимфома орбиты. Пациент К., 66 лет с пониженной остротой зрения. В интракраниальной области левой орбиты визуализируется мягкотканное образование низкой плотности без очагов обызвествления и распространения на костные структуры*



*Рис. 35. МРТ T1 и T2-ВИ с контрастным усилением. Первичная церебральная лимфома. Пациентка С., 79 лет (3 недели дезориентации)*

Отек в обеих заднетеменных и затылочных областях, с вовлечением мозолистого тела. Интенсивное накопление контраста в области поврежденного мозолистого тела. Дифференциальный диагноз с глиобластомой.



*Рис. 36. Злокачественная лимфома (впервые выявленная). Экстранодальное поражение. Очаги деструкции смешанного характера в телах позвонков*

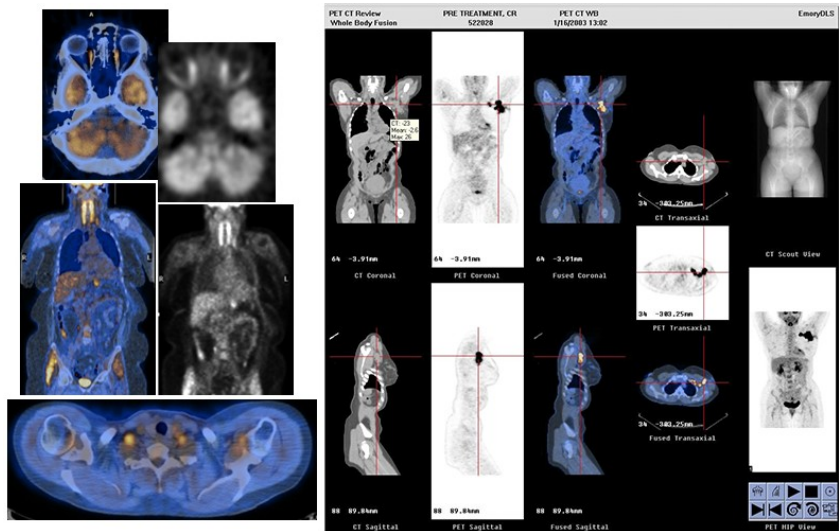


Рис. 37. Накопление радионуклида в пораженных лимфоузлах

### 3. Выводы

При неходжкинских хронических злокачественных лимфомах (НХЗЛ) в патологический процесс вовлекаются многие органы и системы. Наиболее сложная диагностика этих заболеваний у ВИЧ-инфицированных лиц, т.к. происходит вовлечение в опухолевый процесс печени, поджелудочной железы, селезенки, кишечника, надпочечников и органов малого таза, а также различных групп лимфатических узлов.

КТ является одним из ведущих методов диагностики НХЗЛ. Его высокая информативность позволяет рекомендовать СКТ в качестве основного метода диагностики пораженных абдоминальных лимфоузлов и паренхиматозных органов. При выявлении пакетов увеличенных л/узлов обязательно следует проводить осмотр прилежащих органов: печени, селезенки и др. органов; определять их размер, плотность. Увеличенные л/узлы чаще всего располагаются вдоль крупных сосудов и ворот печени, селезенки, почек. Важную диагностическую информацию КТ дает при других экстранодальных локализациях НХЗЛ, в т.ч. желудочно-кишечного тракта, плевры, перикарда, легких.



Применение СКТ позволяет также определить эффективность проводимого лечения (химио и лучевой терапии). Оценивая чувствительность и специфичность данных КТ, можно отметить чувствительность в оценке состояния абдоминальных лимфоузлов равной 96%, а специфичность-92%.

КТ картина экстранодальных проявлений при НХЗЛ разнообразна и не всегда имеет весь комплекс характерных признаков. Вместе с тем, сочетание поражения отдельных органов и увеличение лимфоузлов всегда характерно для неходжкинских лимфом. Так, например значительно увеличивалась группа внутрибрюшных лимфоузлов (>1.5-2.0 см). Чаще всего они образовывали крупные конгломераты, которые располагались у ворот печени, селезенки, в парапанкреатической клетчатке, вдоль крупных сосудистых структур аорты, нижней полой и воротной вен.

### Список литературы:

1. В. Н. Соколов, Е. Овчаренко, Г. Рожковская, Т. Дорофеева, В. Цвиговский, Л. Анищенко, Е. Ситникова, Ю. Стасюк, А. Мудрова и Е. Костов, “Рентгено-томографическая картина лимфо-пролиферативных заболеваний”. *Променева диагностика, променева терапия*. № 1-2. С. 51–56. 2013.
2. S. V. Edge, D. R. Byrd, M. A. Carducci, C. C. Compton, A. Fritz, F. Greene и др., *AJCC cancer staging manual*. Springer New York, 2010, т. 7.
3. S. M. Ansell. “Hodgkin Lymphoma: Diagnosis and Treatment”, *Mayo Clinic Proceedings*, т. 90, № 11, с. 1574–1583, нояб. 2015, issn: 0025-6196. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.005. url: <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.07.005>
4. M. W. Saif. “Primary pancreatic lymphomas”, *Jop*, т. 7, № 3, с. 262–273, 2006.
5. И. Поддубной и В. Савченко. *Российские клинические рекомендации по диагностике и лечению лимфо-пролиферативных заболеваний*, 2016.
6. P. S. Grimison, M. T. Chin, M. L. Harrison и D. Goldstein. “Primary pancreatic lymphoma–pancreatic tumours that are potentially curable without resection, a retrospective review of four cases”, *BMC cancer*, т. 6, № 1, с. 117, 2006.
7. И. Маев, А. Трухманов, В. Доронин и Ю. Кучерявый, “Первичная панкреатическая лимфома”. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. Т. 18. № 3. С. 48–62. 2008.
8. Y. J. Wang, C. M. Jeng, Y. C. Wang, P. P. Chang и Т. Н. Wang. “Primary pancreatic Burkitt’s lymphoma mimicking carcinoma with obstructive jaundice and very high CA19-9”, *European journal of gastroenterology & hepatology*, т. 18, № 5, с. 537–540, 2006.

**References:**

1. V. N. Sokolov, E. Ovcharenko, G. Rozhkovskaya, T. Dorofeeva, V. Tsvigovsky, L. Anischenko, E. Sitnikova, Yu. Stasyuk, A. Mudrova and E. Kostov. “X-ray tomography picture of lymphoproliferative diseases”, *Promeneva diagnostics, promeneva therapy*, No. 1-2, p. 51–56, 2013.
2. S. B. Edge, D. R. Byrd, M. A. Carducci, C. C. Compton, A. Fritz, F. Greene et al., *AJCC cancer staging manual*. Springer New York, 2010, v. 7.
3. S. M. Ansell. “Hodgkin Lymphoma: Diagnosis and Treatment”, *Mayo Clinic Proceedings*, vol. 90, No. 11, p. 1574–1583, Nov 2015, issn: 0025-6196. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.07.005. url: <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.07.07.005>.
4. M. W. Saif. “Primary pancreatic lymphomas”, *Jop*, T. 7, No. 3, p. 262–273, 2006.
5. I. Poddubnoy and V. Savchenko, *Russian clinical guidelines for the diagnosis and treatment of lymphoproliferative diseases*, 2016.
6. P. S. Grimison, M. T. Chin, M. L. Harrison and D. Goldstein. “Primary pancreatic lymphoma – pancreatic tumors that are potentially curable without resection, a retrospective review of four cases”, *BMC cancer*, vol. 6, No. 1, p. 117, 2006.
7. I. Maev, A. Trukhmanov, V. Doronin and Yu. Kucheryavyi. “Primary Pancreatic Lymphoma”, *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*, vol. 18, No. 3, p. 48–62, 2008.
8. Y.J. Wang, C.M. Jeng, Y.C. Wang, P.P. Chang and T.H. Wang. “Primary pancreatic Burkitt’s lymphoma mimicking carcinoma with obstructive jaundice and very high CA19-9”, *European journal of gastroenterology & hepatology*, vol. 18, No. 5, with. 537–540, 2006.



## CHAPTER «VETERINARY SCIENCES»

### CHEMICAL COMPOSITION OF MEAT OF SLAUGHTERED ANIMALS FOR PROCESSING WASHING AND DISINFECTING MEANS

Nadia Bogatko<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-50>

**Abstract.** Studies have found the lowest energy value of meat of slaughtered animals for doubtful degree of freshness and treatment of detergents, respectively: beef  $-156.01 \pm 1.24$  and  $124.69 \pm 1.11$ ,  $135.39 \pm 1.32$  kcal/100 g (for treatment with formaldehyde solutions (10%) and chlorine (chlorine activity 3%) – at meat production capacity for 21–22 days at temperatures from  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$ ; pork –  $143,72 \pm 1,14$  and  $134,14 \pm 1,29$ ,  $133,44 \pm 1,18$  kcal/100 g (for treatment with hydrogen peroxide solution (5%) and alkaline detergents) – at wholesale bases for storage for 21–22 days at temperatures from  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$ ; mutton –  $140,30 \pm 1,38$  and  $125,05 \pm 1,17$  kcal/100 g (for treatment with potassium permanganate solution (5%) – for sale on the agro-food market for 3–4 days at temperatures from  $0$  to  $6^{\circ}\text{C}$ ; meat of goat –  $154.89 \pm 1.25$  and  $131.97 \pm 1.22$  kcal/100 g (for acetic acid solution treatment (10%) – for supermarket sales for 3–4 days at temperatures  $(4 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

It was found that the largest mass fraction of water was  $73.60 \pm 0.62\%$  in beef treated with formaldehyde solution (10%), in mutton  $73.63 \pm 0.69\%$  in potassium permanganate solution (5%), in pork  $72,14 \pm 0,73\%$  for treatment with alkaline detergents, in meat of goat  $71.44 \pm 0.71\%$  for treatment with acetic acid solution (10%); the smallest mass fraction of fat – in beef  $4.33 \pm 0.17\%$  for treatment with formaldehyde solution (10%), in pork  $5.06 \pm 0.24\%$  for treatment with hydrogen peroxide solution (5%), in mutton  $4,57 \pm 0,17\%$  for treatment with potassium permanganate solution (5%), in goat  $4,17 \pm 0,25\%$

---

<sup>1</sup> Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,  
Bila Tserkva National Agrarian University, Ukraine

for treatment with acetic acid solution (10%); the smallest mass fraction of protein – in beef  $3.08 \pm 0.17\%$  and  $3.11 \pm 0.04\%$  for treatment with formaldehyde solutions (10%) and chlorine (chlorine activity 3%), respectively, in pork  $3.69 \pm 0.10\%$  and  $3.71 \pm 0.11\%$  for treatment with hydrogen peroxide solution (5%) and alkaline detergents, respectively, in mutton and goat –  $3.47 \pm 0.15\%$  and  $3.29 \pm 0.17\%$  for treatment with potassium permanganate solutions (5%) and acetic acid (10%), respectively; the lowest mass fraction of ash – in beef  $0.64 \pm 0.01\%$  and  $0.68 \pm 0.01\%$  for the treatment with formaldehyde (10%) and chlorine (chlorine activity 3%), respectively, in pork  $0.89 \pm 0.01\%$  and  $0.90 \pm 0.02\%$  for treatment with a solution of hydrogen peroxide (5%) and alkaline detergents, respectively, in mutton and goat –  $0.82 \pm 0.04\%$  and  $0.78 \pm 0.01\%$  for treatment with potassium permanganate solutions (5%) and acetic acid (10%), respectively. The mass fraction of fat in beef of questionable freshness was significantly reduced by 1.24 times ( $p \leq 0.001$ ), in beef treated with formaldehyde solution by 1.49 times ( $p \leq 0.001$ ) and treated with chlorine solution by 1.43 times ( $p \leq 0.001$ ); in pork of questionable freshness, it is probably reduced by 1.40 times ( $p \leq 0.001$ ), in pork treated with a solution of hydrogen peroxide (5%) by 1.59 times ( $p \leq 0.001$ ), and in pork treated with alkaline detergents in 1.57 fold ( $p \leq 0.001$ ); in mutton treated with potassium permanganate solution (5%) was  $4.57 \pm 0.17\%$ , which is 1.60 times less ( $p \leq 0.001$ ), in mutton of doubtful degree of freshness 1.22 times less ( $p \leq 0.001$ ); in meat of goat treated with acetic acid solution (10%) –  $4.17 \pm 0.25\%$  with a high degree of probability 1.65 times less ( $p \leq 0.001$ ) and in low-fat meat of goat, a decrease in fat mass fraction ( $5.41 \pm 0.32\%$ ) was also observed, with a significant difference of 1.26-fold ( $p \leq 0.001$ ) compared to control parameters.

Therefore, in order to obtain high-quality and safe meat with high nutritional and energy value for consumers, it is necessary to introduce a comprehensive system of state risk-oriented control of the detection of chemical hazardous factors, taking into account the requirements of the VACCP and TACCP systems when applying rapid patented methods for the production and circulation of meat of slaughtered animals.

### **1. Introduction**

Innovative methods of testing their safety and quality must be put in place to monitor the activities of the slaughterhouse meat production, storage and circulation facilities. This will ensure that the food chain is properly monitored

in the traceability system, ie from the production of slaughtered meat to the sale in supermarkets, agri-food markets to the average consumer, and to monitor, evaluate and manage the risks involved in the production and circulation of food products [32, p. 203; 14, p. 3]. The authenticity of meat is currently receiving considerable attention in the multi-stage food chain from animal production on the farm to the consumption of the final food by consumers. The set of methods should include the analysis of the elementary and molecular components of the meat, including the chemical composition [22, p. 3].

Veterinary health inspectors can easily have developed express techniques for controlling the safety and quality of slaughtered meat for state risk-oriented controls on their production and handling facilities to verify compliance with food safety legislation and individual food quality indicators; as well as for state monitoring – to carry out a series of observations and measurements in accordance with the annual plan in order to obtain information on the national status of contaminants in the months of slaughtered animals for taking decisions on their basis and to take measures to improve the level of consumer health protection [24, p. 16].

Therefore, it is necessary to determine the nutritional value of such meat by its chemical composition, energy value, taste properties and digestibility [2, p. 19; 31, p. 2].

Topicality. In order to comply with good hygiene and production practices, the principles of HACCP system implementation, the basic provisions of the VACCP and TACCP systems for their use during the food chain at the facilities for the production and circulation of meat of slaughtered animals (beef, pork, lamb, goat), the system must be developed risk-oriented control of chemical hazardous factors using patented methods for detecting detergent residues [21, p. 19]. The operators of the market for the production and circulation of slaughtered animals must comply with food law at all stages of their production and circulation; to develop, implement and apply permanent GVP, GHP, GMP, GLP procedures based on the principles of hazard analysis and critical control points (HACCP systems) and to control hazardous factors, especially chemical ones, through the establishment of CTS at certain stages of food product [25, p. 21; 18, p. 3; 19, p. 5].

At slaughterhouse meat production facilities, the safety of biological, chemical and physical hazards is a top priority for consumers' health [1, p. 46; 5, p. 4; 30, p. 124].

After slaughter changes in meat, namely – the maturation of meat affects its biochemical, physical processes, tenderness, so the developed concept of maturing of meat with the use of optimal regimes at 0–4°C for 48 hours or at 2–4°C for 72 hours has a positive effect on the quality and energy value of raw meat [36, p. 76].

Scientists have developed the Australian Meat Standards Scheme (MSA) for lamb throughout the supply chain, taking into account carcass sorting, chemical performance and nutritional value [26, p. 47].

In case of non-observance of technological processes of slaughtered animal meat production, temperature, shelf life during storage and circulation, a number of irreversible biochemical changes (processes of deep autolysis) develop in the muscle tissue, accumulate toxic products – products of decomposition of proteins (amines, ammonia, indole, scatol) and lipids (volatile fatty acids, aldehydes, ketones) odor (suffocating-acidic), color gray-brown or gray-red for the formation of metmyoglobin, very consistent sluggish, developing microflora, resulting in reduced nutritional and organoleptic characteristics, destroys vitamins (except vitamin A), extractive nitrogen-containing and nitrogen-free compounds. Such slaughtered meat is not edible and is not allowed for sale [20, p. 62; 23, p. 4].

Detergents, if processed, increase the safety of slaughtered meat and prolong the shelf life of the product, eliminate the development of microflora. Deliberately damaging the meat of slaughtered animals with detergents can harm the brand and lead to illness and death from the use of such a product. Therefore, due to the proper control of meat at its production and circulation facilities, as well as the awareness of the service personnel for the use of detergents, their marking, storage, it is necessary to use the basic requirements of TACCP and VACCP systems [8, p. 7; 17, p. 4; 33, p. 6].

Alkaline detergents, including chlorine solution, act as antioxidants, and solutions of formaldehyde, hydrogen peroxide, potassium permanganate, acetic acid for use have a preserving effect – increase the shelf life and protect against the deterioration of bacteria, inhibit the development of other bacteria. microorganisms.

It has been proven that formaldehyde is hazardous to both human health and the environment, and it is officially recognized as a human carcinogen [27, p. 5].

Intentional processing of meat with a solution of acetic acid adjusts the pH of the medium, loosens the muscle tissue, while the treatment of

hydrogen peroxide bleaches muscle tissue and loosens, and when treated with a solution of potassium permanganate darkens the muscle tissue and slightly loosens. Consumers using such meat of slaughtered animals for the deliberate treatment of detergents can have allergies, asthma, psoriasis, and some preservatives contribute to the development of malignancies, diseases of the digestive system, liver, kidney and skin diseases [4, p. 447; 35, p. 126].

International law regulates the installation of chemical reagents in foodstuffs when using a pollutant control system to assess the negative impact on the environment and consumers [6, p. 8; 7, p. 13].

Therefore, the question now is to develop rapid methods of controlling the chemical hazard in slaughtered animals in the case of detergents, and tests have been carried out to establish the chemical parameters and energy value of meat of different quality.

The purpose is to determine the effect of detergents on the chemical parameters and energy value of beef, pork, lamb and goat fresh, questionable freshness and processed by these means.

The task is to evaluate the chemical performance and energy value of the meat of slaughtered animals of different quality and in the case of treatment with detergents to hide the signs of its poor quality.

### **2. Materials and methods**

The study included meat samples of slaughtered animals from the longest back muscle in the amount of 126, which were selected from the capacity of production and circulation of meat of slaughtered animals in the Kyiv region, which were fresh and questionable, as well as treated with detergents: beef – formaldehyde solution (10%) and chlorine solution (chlorine activity 3%) – at meat production capacity for 20, 21–22 days at temperatures from –2 to –3°C; pork – a solution of hydrogen peroxide with a mass concentration of 5% and alkaline detergents – on wholesale bases for storage for 20, 21–22 days at temperatures from –2 to –3°C; mutton – a solution of potassium permanganate with a mass concentration of 5% – on the agri-food market for 2, 3–4 days at temperatures from 0 to 6°C; goat – a solution of acetic acid (10%) – in the supermarket at 2, 3–4 days at temperatures (4±2)°C.

Preliminary tests have been carried out to determine the degree of freshness in accordance with conventional methods [15, p. 5; 28, p. 36] and by express patented techniques for establishing the treatment of detergents [3, p. 2].

The determination of the pH value in the meat-and-water extract was determined according to DSTU ISO 2917–2001 carried out by destructively measuring the pH value in a homogenized meat sample due to the measurement of the potential difference between the glass electrode and the reference electrode placed in the prepared meat sample [9, p. 4].

To detect the treatment of meat with a solution of formaldehyde (10%) used a mixture of concentrated nitric and sulfuric acids in a ratio of 1:25, which was applied to the surface of the muscle tissue of pork, beef, mutton, meat of goat with an area of 2.5x3.0 cm and through 4–6 minutes set color change: purple-red (with falsification by formaldehyde solution) or yellow-brown (in the absence of falsification). On this method obtained a Patent of Ukraine on utility model 81943, 2013 [3, p. 5].

To detect meat processing of chlorine solution (chlorine activity of 3%) used 2.0–2.1 cm<sup>3</sup> meat-water extract in the ratio of 1:2, to which reagents were added sequentially: 0.2–0.3 cm<sup>3</sup> solution potassium iodide with a mass concentration of 5.0%, 0.2–0.3 cm<sup>3</sup> solution of water-soluble starch with a mass concentration of 2.0% and 2.0–2.1 cm<sup>3</sup> of concentrated hydrochloric acid, and after 1–4 minutes the presence of color was established: blue (by adulteration with chlorine solution) or colorless (in the absence of adulteration). On this method obtained a Patent of Ukraine for utility model 81944, 2013 [3, p. 7].

To detect meat treatment with hydrogen peroxide solution (5%) used 0.5–0.6 cm<sup>3</sup> of concentrated sulfuric acid and 0.2–0.4 cm<sup>3</sup> of potassium iodine starch applied to the surface of muscle tissue of pork, beef, mutton, meat of goat with an area of 1.5x2.0 cm in size and after 1–5 minutes established the presence of color: light blue (by adulteration with a solution of hydrogen peroxide) or without color formation (in the absence of adulteration). On this method obtained a Patent of Ukraine for utility model 81945, 2013 [3, p. 9].

To detect the treatment with a solution of acetic acid (10%) used a 0.5–0.6 cm<sup>3</sup> of sodium hydroxide solution with a mass concentration of 0.1 mol/dm<sup>3</sup> and 0.1–0.2 cm<sup>3</sup> indicator of an alcohol solution of phenolphthalein with a mass concentration of 1% was applied to the surface of the muscle tissue of pork, beef, mutton, meat of goat with an area of 2.0x2.5 cm and after 0.5–1.0 minutes established the presence or absence of color: pink (by adulteration with acetic acid solution) or without color

formation (in the absence of fraud). On this method obtained a Patent of Ukraine for utility model 102019, 2015 [3, p. 11].

To identify the processing of meat with a solution of potassium permanganate used 0.4–0.5 cm<sup>3</sup> solution of sulfuric acid with a mass concentration of 0.5 mol/dm<sup>3</sup>, which was applied to the surface of the muscle tissue of pork, beef, mutton, meat of goat size 2,0x2.5 cm and after 0.5–1.0 minutes the presence of color was determined: slightly pink (with falsification by a solution of potassium permanganate) or without color formation (in the absence of falsification). On this method obtained a Patent of Ukraine for utility model 102020, 2015 [3, p. 12].

To identify the processing of meat with alkaline detergent solutions used 0.2–0.3 cm<sup>3</sup> alcohol solution of bromothymol blue with a mass concentration of 0.04%, which was applied to the surface of the muscle tissue of pork, beef, mutton, meat of goat size 2,0x2,5 cm and after 2–3 seconds established the presence of light yellow color (negative reaction – no falsification) or the presence of blue-blue color of different intensity depending on the amount of alkaline detergents added: light blue (positive reaction) – the presence of alkaline detergents on the surface of muscle tissue up to 5.0%; blue-blue (positive reaction) – presence of application of alkaline detergents on the surface of muscle tissue more than 5,1%. On this method obtained a Patent of Ukraine for utility model 116831, 2017 [3, p. 14].

Tests were conducted to determine the chemical parameters (mass fraction of water, dry matter, fat, protein, ash), carbohydrate content, and energy value of slaughtered animal meat. The studies were conducted at the accredited Central Testing State Laboratory of the State Consumer Service in the Kyiv region and the city of Kyiv.

The mass fraction of water was determined according to DSTU ISO 1442: 2005 [10, p. 6] by mixing homogenized meat sample having a temperature of 25°C with sand and drying it at (103±2)°C, and then calculating the formula in percent. The mass fraction of dry matter in the meat of slaughtered animals was determined by calculating the difference of 100% and the mass fraction of water. Determination of mass fraction of fat (without conversion to dry matter) was performed by the Soxhlet method (without protein hydrolysis) according to DSTU ISO 1443:2005 [11, p. 3] by boiling the test sample of meat with dilute hydrochloric acid to release bound and unbound of lipid fractions, filtration of the resulting mass, drying

and extraction of the fat remaining on the filter using n-hexane or petroleum ether, and then subtracting the total fat content, expressed as a percentage by weight, were calculated by the formula. Determination of protein mass fraction (without solids) was performed by the Kjeldahl method according to DSTU ISO 937:2005 [12, p. 7] by determining the nitrogen content in meat by burning the test portion with concentrated sulfuric acid using copper sulfate (II) as a catalyst for conversion of organic nitrogen to ammonia ions, alkalization, distillation of released ammonia to excess boric acid solution, titration with hydrochloric acid to determine the ammonia bound by boric acid, and calculation of the nitrogen content in the sample, based on the amount of distilled ammonia. The nitrogen content, expressed as a mass fraction, in percent (%) is calculated by the formula, the conversion factor of the mass fraction of nitrogen to the mass fraction of protein is 6.25.

Determination of the mass fraction of ash (excluding dry matter) was carried out according to GOST 26226–1995 [16, p. 6] by determining the mass of the residue after burning the sample of meat and subsequent calcining and subtracting the mass fraction of crude ash in the percentage by the formula. Measurement of nutritional and energy value of meat was carried out in accordance with the Test procedure «Determination of energy and nutritional value in raw materials, products of animal and vegetable origin», approved. State Scientific Research Institute of Laboratory Diagnostics and Veterinary and Sanitary Examination, Minutes of the Academic Council No. 8 dated July 17, 2017 [34, p. 4]. The determination of the energy value in the meat of slaughtered animals was carried out by a calculation method with a preliminary determination of the nutritional value, namely proteins, fats, carbohydrates per 100 g of product.

Determination of nutritional value in the meat of slaughtered animals was to carry out physico-chemical studies to determine the mass fraction of fat, the mass fraction of protein, the mass fraction of solids and the mass fraction of ash, with subsequent determination of the calculated method of carbohydrates, namely the determination of carbohydrates by subtraction solids (dry residue) is the sum of the mass fractions of protein, fat and ash.

Determination of the energy value (calorie) of meat was determined by calculating the formula of already known nutrition information (mass of protein, carbohydrates, fat) using energy values (4.0 – 1 g of protein or 1 g of carbohydrates in the product, kcal/g; 9.0 – 1 g of fat in the product, kcal/g).



### 3. Chemical parameters and energy value of beef of different quality and for treatment with formaldehyde and chlorine solutions

It should be noted that, according to the conventional methods, beef at slaughterhouse capacities for storage for 20 days at  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$  corresponded to the parameters of fresh meat: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscles –  $6\pm 1$ , the reaction with copper sulfate is positive, the pH value is  $5.76\pm 0.02$ , the content of amino-ammonia nitrogen is  $0.65\pm 0.02$ . On 21–22 days, a doubtful degree of freshness of beef was established: the number of microorganisms in smear-prints from deep layers of muscles was  $12\pm 1$ , the reaction with copper sulfate was negative, the pH value was  $5.97\pm 0.01$ , the content of amino-ammonia nitrogen  $1.28\pm 0.02$  mg.

Beef of questionable degree and treated with a solution of formaldehyde (10%) for 21–22 days at temperatures of  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$  had the following parameters: the number of microorganisms in smears-imprints from deep layers of muscle –  $12\pm 1$ , the reaction with copper sulfate is negative, the pH value  $6.32\pm 0.01$ , amino-ammonia nitrogen content  $1.29\pm 0.02$  mg. And the beef of questionable degree and treated with a solution of chlorine (chlorine activity of 3%) for 21–22 days at temperatures of  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$  had the following parameters: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscles –  $12\pm 1$ , the reaction from copper sulfate is negative, pH value is  $6.29\pm 0.01$ , the content of amino-ammonia nitrogen is  $1.30\pm 0.02$  mg.

Table 1 presents the chemical parameters and the non-energy value of fresh, doubtful freshness and doubtful freshness for formaldehyde and chlorine treatment.

Table 1 shows that the mass fraction of water in beef of dubious freshness was not significantly increased by 1.01 times (by 0.73%), but in beef treated with formaldehyde and chlorine solutions for 21–22 days at temperatures from  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$  was probably increased respectively by 1.10 times ( $p\leq 0.001$ ) and 1.05 times ( $p\leq 0.01$ ) compared to the control values (fresh beef) for 20 days at temperatures from  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$ . According to the increase in the mass fraction of water – the mass fraction of dry matter in beef of doubtful freshness is reduced by 1.02 times, in beef treated with formaldehyde solution (10%) – by 1.26 times ( $p\leq 0.001$ ), in beef treated with chlorine solution (chlorine activity of 3%) is 1.11 times ( $p\leq 0.001$ ) compared to the control values.

Table 1

**Chemical parameters and energy value of beef of different quality and for treatment with formaldehyde and chlorine solutions,  $M \pm m$ ,  $n = 9$**

Chemical parameters	Beef of different quality			
	fresh beef (control)	beef of dubious freshness	beef treated with solution formaldehyde (10%)	Beef treated with chlorine solution (3% activity)
Mass fraction of water,%	66.84±0.66	67.57±0.61	73.60±0.62***	70.11±0.79**
Mass fraction of dry matter, %	33.16±0.49	32.43±0.52	26.40±0.51***	29.89±0.62***
Mass fraction of fat,%	6.45±0.18	5.13±0.10***	4.33±0.17***	4.51±0.15***
Mass fraction of protein,%	6.12±0.41	4.27±0.19***	3.08±0.17***	3.11±0.04***
Mass fraction of ash,%	1.08±0.01	0.84±0.01***	0.64±0.01***	0.68±0.01***
Carbohydrate content, g/100 g	19.51±0.56	23.19±0.63***	18.35±0.69	20.59±0.51
Energy value, kcal/ in 100 g	160.57±1.27	156.01±1.24*	124.69±1.11***	135.39±1.32***

Note: \* –  $p \leq 0.05$ ; \*\* –  $p \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0.001$

The mass fraction of fat, protein and ash in beef of dubious freshness and treated with formaldehyde and chlorine solutions was likely to decrease. Thus, the mass fraction of fat in beef of questionable freshness was significantly reduced by 1.24 times ( $p \leq 0.001$ ), in beef treated with formaldehyde solution – 1.49 times ( $p \leq 0.001$ ) and treated with chlorine solution – 1.43 times ( $p \leq 0.001$ ); the mass fraction of protein in beef of dubious freshness – 1.43 times ( $p \leq 0.001$ ), in beef treated with formaldehyde solution – 1.99 times ( $p \leq 0.001$ ) and treated with chlorine solution – 1.47 times ( $p \leq 0.001$ ); the mass fraction of ash in beef of dubious freshness is 1.29 times ( $p \leq 0.001$ ), in beef treated with formaldehyde solution – 1.69 times ( $p \leq 0.001$ ) and treated with chlorine solution – 1.59 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to control metrics.

Carbohydrate content of beef of questionable freshness was significantly increased by 1.19 times ( $p \leq 0.001$ ), and in beef treated with chlorine

solution it was not significantly increased by 1.06 times; in beef treated with formaldehyde solution not significantly reduced by 1.06 times. At the same time, the lowest energy value of the bulbs was set in beef treated with formaldehyde solution –  $124.69 \pm 1.11$  kcal/100 g and in beef treated with chlorine solution –  $135.39 \pm 1.32$ . It should also be noted that the energy value of beef of dubious freshness and treated with formaldehyde and chlorine solutions was likely to decrease 1.03 times ( $p \leq 0.05$ ), 1.29 times ( $p \leq 0.001$ ) and 1.19 times ( $p \leq 0.001$ ) respectively compared to fresh beef.

#### **4. Chemical parameters and energy value of pork of different quality and for treatment with hydrogen peroxide solution and alkaline detergents**

According to the conventional methods, pork on wholesale bases for storage for 20 days at temperatures of  $-2$  to  $-3$  °C corresponded to the parameters of fresh meat: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscle –  $7 \pm 1$ , the reaction with copper sulfate is positive, pH  $5.80 \pm 0.02$ , amino-ammoniacal nitrogen content  $0.72 \pm 0.02$  mg. On 21–22 days, a doubtful degree of pork freshness was established: the number of microorganisms in smear-prints from deep layers of muscle was  $12 \pm 1$ , the reaction with copper sulfate was negative, the pH value was  $6.03 \pm 0.01$ , the content of amino-ammonia nitrogen  $1.37 \pm 0.02$  mg. The pork of doubtful degree and treated with a solution of hydrogen peroxide (5%) for 21–22 days at temperatures of  $-2$  to  $-3$  °C had the following parameters: the number of microorganisms in smears-imprints from deep layers of muscles –  $14 \pm 1$ , the reaction with copper sulfate negative, pH value  $6.45 \pm 0.01$ , amino-ammonia nitrogen content  $1.38 \pm 0.02$  mg. And pork of doubtful degree and treated with alkaline detergents for 21–22 days at temperatures of  $-2$  to  $-3$  °C had the following parameters: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscles –  $15 \pm 1$ , the reaction with copper sulfate is negative, the pH value  $6.74 \pm 0.01$ , amino-ammonia nitrogen content  $1.39 \pm 0.02$  mg.

Table 2 presents the chemical parameters and the non-energy value of pork fresh, dubious freshness and dubious freshness when treated with a solution of hydrogen peroxide and alkaline detergents.

From the table 2 shows that the mass fraction of water in pork of dubious freshness and treated with a solution of hydrogen peroxide and alkaline detergents for 21–22 days at temperatures from  $-2$  to  $-3$  °C was significantly

**Chemical parameters and energy value of pork of different quality and for treatment with hydrogen peroxide solution and alkaline detergents,  $M \pm m$ ,  $n = 9$**

Chemical parameters	Pork of different quality			
	fresh pork (control)	pork of doubtful freshness	pork treated with a solution of hydrogen peroxide (5%)	pork treated with alkaline detergents
Mass fraction of water, %	67.37±0.69	70.31±0.69**	71.90±0.63***	72.14±0.73***
Mass fraction of dry matter, %	32.63±0.60	29.69±0.67**	28.10±0.76***	27.86±0.63***
Mass fraction of fat, %	8.06±0.26	5.76±0.16***	5.06±0.24***	5.12±0.23***
Mass fraction of protein, %	6.63±0.12	5.41±0.17***	3.69±0.10***	3.71±0.11***
Mass fraction of ash, %	1.16±0.05	0.96±0.01**	0.89±0.01***	0.90±0.02**
Carbohydrate content, g/100 g	16.78±0.64	17.56±0.62	18.46±0.72	18.13±0.76
Energy value, kcal/ in 100 g	166.18±1.47	143.72±1.14***	134.14±1.29***	133.44±1.18***

Note: \*\* –  $p \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0.001$

increased accordingly 1.04 times ( $p \leq 0.01$ ), 1.07 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to controls. At the same time, the mass fraction of dry matter was probably reduced in pork of doubtful freshness by 1.10 times ( $p \leq 0.01$ ), in pork treated with a solution of hydrogen peroxide (5%) and alkaline detergents, respectively 1.16 ( $p \leq 0.001$ ) and 1.17 times ( $p \leq 0.001$ ).

A high degree of probability ( $p \leq 0.001$ ) of the mass fraction of fat, protein and ash was found in pork treated with a solution of hydrogen peroxide (5%), respectively, 1.59 times, 1.80 and 1.30 times compared to the control parameters. In pork of dubious freshness, the mass fraction was reduced: fat – by 1.40 times ( $p \leq 0.001$ ), protein – by 1.23 times ( $p \leq 0.001$ ), ash – by 1.21 times ( $p \leq 0.01$ ). In pork treated with alkaline detergents and disinfectants also the mass fraction was reduced: fat – by 1.57 times ( $p \leq 0.001$ ), protein – by 1.79 times ( $p \leq 0.001$ ), ash – by 1.29 times ( $p \leq 0.01$ ).

The carbohydrate content of pork of questionable freshness and pork treated with hydrogen peroxide solutions (5%) and alkaline detergents was not significantly increased, respectively, by 1.05 times, 1.10 times and 1.08 times compared to the control indicators. The lowest energy value of pork was its treatment with alkaline detergents and a solution of hydrogen peroxide (5%) – 133,44±1,18 kcal/100 g and 134,14±1,29 kcal/100 g, respectively in 1,25 times ( $p \leq 0.001$ ) and 1.24 times ( $p \leq 0.001$ ) and in pork of doubtful freshness – 1.16 times ( $p \leq 0.001$ ) less than the control indicators – fresh pork.

### **5. Chemical parameters and energy value of mutton of different quality and for treatment with potassium permanganate solution**

According to the conventional methods of mutton for sale on the agro-food market for 2 days at temperatures from 0 to 6 °C corresponded to the parameters of fresh meat: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscle – 6±1, the reaction with copper sulfate is positive, the pH value is 5,92±0.02, the content of amino-ammoniacal nitrogen 0.87±0.02 mg. On 3–4 days, a doubtful degree of mutton freshness was established: the number of microorganisms in smear-prints from deep layers of muscles was 16±1, the reaction with copper sulfate was negative, the pH value was 5.85±0.01, the content of amino-ammonia nitrogen 1.32±0.02mg. Mutton of doubtful degree and treated with a solution of potassium permanganate (5%) for 3–4 days at temperatures from 0 to 6°C had the following parameters: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscle – 17±1, the reaction with copper sulfate is negative, the value pH 5.41±0.01, amino-ammonia nitrogen content 1.29±0.02 mg.

Table 3 presents the chemical parameters and the energy value of fresh mutton, doubtful freshness and doubtful freshness when treated with potassium permanganate solution (5%).

Analyzing the table 3, it should be noted that the mass fraction of water in mutttons of dubious freshness and lamb treated with a solution of potassium permanganate (5%) for 3–4 days at temperatures from 0 to 6°C, when sold on the agri-food market, was probably slightly increased, respectively, by 1.05. times ( $p \leq 0.001$ ) and 1.08 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to the control indicators of fresh mutton. Accordingly, the mass fraction of

Table 3

**Chemical parameters and energy value of mutton of different quality and for treatment with potassium permanganate solution,  $M \pm m$ ,  $n = 9$**

Chemical parameters	Mutton of different quality		
	fresh mutton (control)	Mutton of doubtful freshness	Mutton treated with potassium permanganate solution (5%)
Mass fraction of water,%	68.22±0.88	71.51±0.77**	73.63±0.69***
Mass fraction of dry matter, %	31.78±0.63	28.49±0.72**	26.37±0.77***
Mass fraction of fat,%	7.32±0.20	6.02±0.30***	4.57±0.17***
Mass fraction of protein,%	6.31±0.19	5.23±0.23**	3.47±0.15***
Mass fraction of ash,%	1.15±0.10	0.94±0.05*	0.82±0.04***
Carbohydrate content, g/100 g	17.00±0.83	16.30±0.81	17.51±0.71
Energy value, kcal/ in 100 g	159.12±1.37	140.30±1.38***	125.05±1.17***

Note: \* –  $p \leq 0.05$ ; \*\* –  $p \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0.001$

dry matter in the studied mutton samples decreased somewhat: in mutton of doubtful freshness – by 1.12 times ( $p \leq 0.01$ ), in lamb treated with potassium permanganate solution (5%) – by 1.21 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to control indicators.

The smallest mass fraction of fat, protein and ash were found in mutton treated with potassium permanganate solution (5%), respectively – 4.57±0.17%, 3.47±0.15 and 0.82±0.04%, respectively. had a high degree of probability ( $p \leq 0.001$ ), respectively, 1.60 times, 1.82 and 1.40 times compared to the control indicators. In the mutton of doubtful degree of freshness, there was also a probable decrease of mass particles of fat, protein and ash by 1.22 times ( $p \leq 0.001$ ), 1.21 times ( $p \leq 0.01$ ) and 1.22 times ( $p \leq 0.05$ ) compared to control indicators.

Carbohydrate content of mutton of doubtful freshness was reduced by 1.13 times, and in mutton treated with potassium permanganate solution

(5%) increased by 1.03 times compared to the control parameters, but the difference was not significant. The highest energy value was found in fresh mutton –  $159.12 \pm 1.37$  kcal/100 g, and the lowest in mutton treated with potassium permanganate solution (5%) –  $125.05 \pm 1.17$  kcal/100 g, which in 1,27 times ( $p \leq 0,001$ ) less than the control indicators. Mutton of dubious freshness also has a high degree of probability of energy value of 1.04 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to the control indicators.

### **6. Chemical parameters and energy value of meat of goat of different quality and treatment with acetic acid solution**

According to the conventional methods, meat of goat when sold on the agro-food market for 2 days at temperatures from 0 to 6 °C corresponded to the parameters of fresh meat: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscle –  $5 \pm 1$ , the reaction with copper sulfate is positive, the value is positive  $5.82 \pm 0.02$ , amino-ammonia nitrogen content of  $0.77 \pm 0.02$  mg. On 3–4 days, a doubtful degree of freshness of the meat of goat was established: the number of microorganisms in smears-imprints from deep layers of muscle  $13 \pm 1$ , the reaction with copper sulfate negative, pH value  $5.78 \pm 0.01$ , the content of amino-ammonia nitrogen  $1.34 \pm 0.02$  mg. The goat of questionable degree and treated with acetic acid solution (10%) for 3–4 days at temperatures from 0 to 6 °C had the following parameters: the number of microorganisms in smears-prints from deep layers of muscles –  $14 \pm 1$ , the reaction with copper sulfate negative, pH value  $5.61 \pm 0.01$ , amino-ammonia nitrogen content  $1.35 \pm 0.02$  mg.

Table 4 presents the chemical parameters and the non-nutritive value of fresh meat of goat, doubtful freshness and doubtful freshness when treated with acetic acid solution (10%).

From the data table 4 it was found that in meat of goat of doubtful freshness and goat treated with acetic acid solution (10%) for 3–4 days at temperature  $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$  an increase of mass fraction of water was found, respectively, 1.02 times and 1.08 times ( $p \leq 0,001$ ) compared to control indicators. Accordingly, the mass fraction of dry matter in the studied samples of goat meat decreased: in the goat of doubtful freshness – by 1.03 times, and in the goat treated with a solution of potassium permanganate (5%) – by 1.19 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to the control parameters.

Table 4

**Chemical parameters and energy value of meat of goat of different quality and treatment with acetic acid solution,  $M \pm m$ ,  $n = 9$**

Chemical parameters	Meat of goat of different quality		
	fresh meat of goat (control)	meat of goat of doubtful freshness	meat of goat treated with acetic acid solution (10%)
Mass fraction of water, %	65.98±0.68	67.13±0.82	71.44±0.71***
Mass fraction of dry matter, %	34.02±0.73	32.87±0.49	28.56±0.70***
Mass fraction of fat, %	6.82±0.11	5.41±0.32***	4.17±0.25***
Mass fraction of protein, %	5.71±0.21	4.55±0.18***	3.29±0.17***
Mass fraction of ash, %	1.13±0.05	0.91±0.02**	0.78±0.01***
Carbohydrate content, g/100 g	20.36±0.75	22.00±0.79	20.32±0.77
Energy value, kcal/ in 100 g	165.66±1.30	154.89±1.25***	131.97±1.22***

Note: \*\* –  $p \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0.001$

It should be noted that the smallest mass fraction of fat (4.17±0.25%), protein (3.29±0.17%) and ash (0.78±0.01%) were detected in meat of goat treated with vinegar solution acid (10%) and a high degree of probability ( $p \leq 0.001$ ) was found to be 1.65 times, 1.74 times and 1.45 times, respectively, compared to control indicators. Reduced mass fractions of fat (5.41±0.32%), protein (4.55±0.18%) and ash (0.91±0.02%) were also found in the goat of doubtful freshness, with a significant difference of 1.26 times ( $p \leq 0.001$ ), 1.25 times ( $p \leq 0.001$ ) and 1.24 times ( $p \leq 0.01$ ) compared to control indicators. Carbohydrate content was slightly increased in the meat of goat of doubtful freshness by 1.08 times, and in the goat treated with a solution of acetic acid (10%) – slightly reduced compared to the control indicators, but no significant difference was found. The highest energy value was set in fresh meat of goat – 165.66±1.30 kcal/100 g, and the lowest in goat treated with acetic acid solution (10%) – 131.97±1.22 kcal/100 g, which in 1,26 times ( $p \leq 0,001$ )



less than the control indicators. In the meat of goat of doubtful freshness, a high degree of probability of energy value was also established at 1.07 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to the indicators of control – fresh meat of goat.

It is necessary to apply the methods of control of meat and meat products in the legislative field, since they are the source of high nutritional values proteins, minerals, vitamins to improve the growth of profitability of the meat industry and the efficient use of available resources [29, p. 65]. The mass fraction of fat, protein and ash in pork of questionable freshness and pork treated with hydrogen peroxide solutions (5%) and alkaline detergents were significantly reduced. This is due to the fact that volatile fatty acids, ammonia, ketones, etc. are formed during the spoiling of meat and the treatment of disinfectants [22, p. 13; 35, p. 125]. The use of rapid patented methods for detecting chemical agents in the meat of slaughtered animals, namely detergents for the elimination of signs of spoilage, is important for the use of simple tests in the veterinary medicine specialists in accredited public service laboratories [13, p. 5].

Therefore, it is necessary for veterinary medicine or veterinary inspectors to supervise the terms of storage and sale of slaughtered animals' meat at production facilities and wholesale bases above the set time of 20 days at temperatures  $-2-3^{\circ}\text{C}$ ; in the agro-food markets for 2 days at temperatures from 0 to  $6^{\circ}\text{C}$ ; in supermarkets for 2 days at temperatures  $(4 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , use express patented methods of establishing the processing of meat with detergents to hide the signs of spoilage, the expulsion of meat as a result of changing the label. Therefore, we have developed a comprehensive system of state risk-oriented control of the detection of chemical hazardous factors, taking into account the requirements of VACCP and TACCP systems [5, p. 2; 21, p. 20; 32, p. 204] when applying express patented methods at the facilities for the production and circulation of meat of slaughtered animals.

### 7. Conclusions

1. In order to obtain high-quality and safe meat with high nutritional and energy value for consumers, it is necessary to introduce a comprehensive system of state risk-oriented control for the detection of chemical hazardous factors, taking into account the requirements of VACCP and TACCP systems when applying rapid patented production facilities animals, storage (wholesale bases) and circulation (agri-food markets, supermarkets, shops).

2. The lowest energy value of meat of slaughtered animals in doubtful degree of freshness and treatment with detergents was set respectively in beef –  $156.01 \pm 1.24$  and  $124.69 \pm 1.11$ ,  $135.39 \pm 1.32$  kcal/100 g (for treatment with formaldehyde solutions (10%) and chlorine (chlorine activity 3%) – at meat production capacity for 21–22 days at temperatures from  $-2$  to  $-3^\circ\text{C}$ ; in pork –  $143.72 \pm 1.14$  and  $134.1 \pm 1.29$ ,  $133.44 \pm 1.18$  kcal/100 g (for treatment with hydrogen peroxide solution (5%) and alkaline detergents) – at wholesale storage bases for 21–22 days at temperatures from  $-2$  to  $-3^\circ\text{C}$ ; in mutton –  $140,30 \pm 1,38$  and  $125,05 \pm 1,17$  kcal/100 g (for treatment with potassium permanganate solution (5%) – for sale in the agro-food market for 3–4 days at temperatures from  $0$  to  $6^\circ\text{C}$ ; in meat of goat –  $154.89 \pm 1.25$  and  $131.97 \pm 1.22$  kcal/100 g (for treatment with acetic acid solution (10%) – for sale in the supermarket for 3-4 days at temperatures ( $4 \pm 2$ ) $^\circ\text{C}$ .

3. The largest mass fraction of water was found in beef  $73.60 \pm 0.62\%$  for formaldehyde treatment (10%), mutton  $73.63 \pm 0.69\%$  for potassium permanganate solution (5%), pork  $72.14 \pm 0,73\%$  for treatment with alkaline detergents, in meat of goat  $71.44 \pm 0.71\%$  for treatment with acetic acid solution (10%); the smallest mass fraction of fat – in beef  $4.3 \pm 0.17\%$  for treatment with formaldehyde solution (10%), in pork  $5.06 \pm 0.24\%$  for treatment with hydrogen peroxide solution (5%), in mutton  $4.57 \pm 0,17\%$  for treatment with potassium permanganate solution (5%), in meat of goat  $4,17 \pm 0,25\%$  for treatment with acetic acid solution (10%).

4. The mass fraction of fat in beef of questionable freshness was significantly reduced by 1.24 times ( $p \leq 0.001$ ), in beef treated with formaldehyde solution by 1.49 times ( $p \leq 0.001$ ) and treated with chlorine solution by 1.43 times ( $p \leq 0,001$ ); in pork of questionable freshness, it is probably reduced by 1.40 times ( $p \leq 0.001$ ), in pork treated with a solution of hydrogen peroxide (5%) by 1.59 times ( $p \leq 0.001$ ), and in pork treated with alkaline detergents in 1.57 fold ( $p \leq 0.001$ ); in mutton treated with potassium permanganate solution (5%) was  $4,57 \pm 0,17\%$ , which is 1,60 times less ( $p \leq 0,001$ ), in mutton of doubtful degree of freshness 1,22 times less ( $p \leq 0,001$ ); in meat of goat treated with acid solution (10%) –  $4.17 \pm 0.25\%$  with a high degree of probability 1.65 times less ( $p \leq 0.001$ ) and in meat of goat of doubtful freshness, fat mass fractions were also observed ( $5,41 \pm 0.32\%$ ) with a probable difference of 1.26 times ( $p \leq 0.001$ ) compared to the control indicators.

5. The smallest mass fraction of protein was found in beef  $3.0 \pm 0.17\%$  and  $3.11 \pm 0.04\%$  for treatment with formaldehyde solutions (10%) and chlorine (chlorine activity 3%), respectively, in pork  $3.69 \pm 0.10\%$  and  $3.71 \pm 0.11\%$  for treatment with hydrogen peroxide solution (5%) and alkaline detergents, respectively, in mutton and meat of goat –  $3.47 \pm 0.15\%$  and  $3.29 \pm 0.17\%$  for treatment with solutions of potassium permanganate (5%) and acetic acid (10%), respectively; the lowest mass fraction of ash is  $0.64 \pm 0.01\%$  in beef and  $0.68 \pm 0.01\%$  in the case of formaldehyde (10%) and chlorine (chlorine activity 3%), respectively, in pork  $0.89 \pm 0.01\%$  and  $0.90 \pm 0.02\%$  for treatment with hydrogen peroxide solution (5%) and alkaline detergents, respectively, in mutton and meat of goat –  $0.82 \pm 0.04\%$  and  $0.78 \pm 0.01\%$  for treatment with potassium permanganate solutions (5%) and acetic acid (10%), respectively.

### References:

1. Bashinsky, V.V., Ostapyuk, M.P., & Semenchuk, O.S. (2009). Requirements of European food law: Collection of information materials. Kyiv: Vetinform LLC, 1, 327 p. (in Ukrainian)
2. Benet, J.J., & Bellemain, V. (2005). Responding to consumer demands for safe food: a major role for veterinarians in the 21<sup>st</sup> Century. In Proc. Seminar 28<sup>th</sup> World Veterinary Congress: ‘Challenges in responding to new international and social demands on the veterinary profession’, 17 July, Minneapolis, Minnesota. World Organisation for Animal Health (OIE), Paris, 17–29. Available at: [www.oie.int/doc/ged/D1965.PDF](http://www.oie.int/doc/ged/D1965.PDF) (accessed 15 May 2020).
3. Bogatko, N.M. (2019). Control of the of safety meat of slaughtered animals dbring the establishment of falsification by express methods: scientific and methodical recommendations. Bila Tserkva, 24 p. (in Ukrainian)
4. Goodwin, J., & Shoulders, C. (2013). The future of meat: A qualitative analysis of cultured meat media coverage. *Meat Science*, 95(3), 445–450. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.05.027.
5. Codex Alimentarius Comission. Risk Analisis Policies of the CAC. Report of the Session of the CAC. Geneva. Switzerland. 2-7 July. 2001. CAC. Rome. Italy. Available at: [http://www.fao.org/tempref/codex/Reports/Alnorm01/al01\\_12e.pdf](http://www.fao.org/tempref/codex/Reports/Alnorm01/al01_12e.pdf)
6. Council Directive 320/88/ EEC of 9 June 1988 on the approximation of the laws of the EU Member States relating to the inspection and verification of compliance with established rules for laboratories (UPL) (88/320/ EEC) to carry out the organizational procedures and conditions under which plans, conditions, the results of tests of chemicals used in industry to assess the effects of such substances on humans, animals and the environment are recorded and presented. Available at: <http://www.reachteam.eu/chinese/REACH-ME/engine/sources/directivathe radiation-320-1988-EC.html> (in Ukrainian)

7. Council Directive 23/96 of 29 April 1996 on the control measures for certain substances and their residual content in live animals and products of animal origin, adopted in violation of EEC Directives 85/358 and Decisions 89/187/EEC and 91/664/EEC. Available at: [http://www.reachteam.eu/chinese/REACH-ME/engine/sources/directiva the radiation-23-1996-EC.html](http://www.reachteam.eu/chinese/REACH-ME/engine/sources/directiva%20the%20radiation-23-1996-EC.html) (in Ukrainian)
8. DSTU GOST 31340:2009. Warning marking of chemical products. General requirements. [Effective 2010-01-01]. Kyiv, 2010, 16 p. (National Standards of Ukraine). (in Ukrainian)
9. DSTU ISO 2917–2001. Meat and meat products. Determination of pH (control method). (ISO 2917: 1999, IDT). [Valid from 2003-10-01]. Kyiv, 2002, 6 p. (National Standards of Ukraine). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-02> (in Ukrainian)
10. DSTU ISO 1442:2005. Meat and meat products. The method of determining the moisture content. (ISO 1442: 1973, IDT). [Effective 2007-04-01]. Kyiv, 2007, 8 p. (National Standards of Ukraine). (in Ukrainian)
11. DSTU ISO 1443:2005. Meat and meat products. The method of determining the total fat content. (ISO 1443: 1973, IDT). [Effective 2007-04-01]. Kyiv, 2007, 4 p. (National Standards of Ukraine). (in Ukrainian)
12. DSTU ISO 937:2005. Meat and meat products. Determination of nitrogen content (control method). (ISO 937: 1978, IDT). [Effective 2007-07-01]. Kyiv, 2007, 8 p. (National Standards of Ukraine). (in Ukrainian)
13. DSTU ISO/IEC 17025–2002. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025: 1999, IDT). [Valid from 2002-01-01]. Kyiv, 2002, 66 p. (National Standards of Ukraine). (in Ukrainian)
14. European Food Rapid Response System. Available at: [https://ec.europa.eu/food/safety/rasff\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en)
15. GOST 23392–2016. Meat. Methods of chemical and microscopic analysis of freshness. [Effective 1980–01–01]. Kyiv, 2016, 7 p. (Interstate standard). (in Ukrainian)
16. GOST 26226–1995. Feed, compound feed, compound feed. Methods for determining crude ash. [Introduction 1998-01-01]. Kyiv, 1997, 8 p. (Interstate standards). (in Russian)
17. ISF Advisory Program in Europe and Central Asia. ISF Food Safety in Ukraine Project. Implementation of food safety management systems at Ukrainian food industry enterprises. Kyiv, 2011, 20 p.
18. Khmel, V.M., Grifsova, Y.L., & Prikhodko, N.I. (2005). HACCP: Hazardous Factors Analysis and Critical Control Points in Food and Raw Materials Production: A Teaching Method. manual. Kyiv: State Enterprise «UkrNDNTS», 70 p. (in Ukrainian)
19. Khmel, V.M., Barabola, L.O., & Kalita, O.V. (2006). Recommendations for the implementation of the HACCP system in the meat processing industry of Ukraine: a teaching method. manual. Kyiv: State Enterprise “UkrNDNTS”, 122 p. (in Ukrainian)
20. Langelaan, M., Boonen, K., Polak, R., Boaijens, F., Post, M. & van der Schaft, D. (2010). Meet the new meat: tissue engineered skeletal muscle. *Trends Food Sci. Technol.*, 21(2), 59–66. doi: 10.1016/j.tifs.2009.11.001

21. Mallett Richard (2012). From secure factory perimeters to secure food supplies. From HACCP to TACCP and VACCP. *HACCP International. Food Safety bulletin*, 12, 18–20.

22. Monohan, F.J., Schmidt, O., Moloney, A.P. (2018). Meat provenance: Authentication of geographical origin and dietary background of meat. *Meat science*, 144, 2–14. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.05.008

23. Nutritional and biological value of meat and meat products. Available at: <https://studopedia.org/13-118914.html> (in Ukrainian)

24. On State Control of Compliance with Food, Feed, Animal By-Products, Animal Health and Welfare: Law of Ukraine. BP information dated 18.05.2017, № 2042-VIII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042/2018BP> (in Ukrainian)

25. On the basic principles and requirements for food safety and quality: Law of Ukraine. BP information dated 23.12.97 No. 771/97–BP as amended on 24.10.02; as amended by Law No. 2809-IV of 6 September 2005; as amended by Law No. 2042-VIII, OIA, 2017, No. 31. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/771/97-BP/edition/04.04.2018/> (in Ukrainian)

26. Pannier, L., Gardner, G.E., O'Reilly, R.A., Pethick, D.W. (2018). Factors affecting lamb eating quality and the potential for their integration into an MSA sheepmeat grading model. *Meat Science*, 144, 43–52. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.035

27. Regulation (EC) No 648/2004 of the European Parliament and of the Council on detergents. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994-961> (in Ukrainian)

28. Rules for the pre-mortem veterinary inspection of animals and the veterinary examination of meat and meat products. Order of the State Department of Veterinary Medicine of June 28, 2002 No. 28; register. in the Ministry of Justice of Ukraine from 21.06. 2002 under No. 524/6812. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-02>. (in Ukrainian)

29. Sarah, A. Lynchab, Anne Maria, Mullena Eileen O'Neill, Liana Drummond, Carlos Álvarez (2018). Opportunities and perspectives for utilisation of co-products in the meat industry. *Meat Science*, 144, 62–73. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.019

30. Shekhar, Chandra (2016). The role of veterinarians in quality meat production. *Vet. Sci. Res. J.*, 7(2), 122–128. doi: 10.15740/HAS/VSRJ/7.2/122-128

31. Storch, S, Majjala, R, Belveze I. (2002). Exampesies of comprehensive and integrated approach to risk analysis in the food chain experiences and learned. Conference paper FAO/ European Conference on Food safety and Quality. Budapest. Hungary, 25–28 February. 2002. Available at: <http://www.fao.org/3/a-y3696e.pdf>

32. Stibel, B., & Simonov, M. (2018). Food safety management. Lviv, LLC «Galician Publishing Union», 230 p. (in Ukrainian)

33. Technical Regulation of detergents. Close Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 20.08.2008 No. 717; amending the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 12.06.2013 year, making changes No. 88 from 12.02.2020 year. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/717-2008> (in Ukrainian)

34. Test procedure. Determination of energy and nutritional value in raw materials, products of animal and vegetable origin. Approved by the Scientific Research Institute of Laboratory Diagnostics and Veterinary and Sanitary Examination, Minutes of the Academic Council № 8 dated 17.07.2017, 5 p. (in Ukrainian)

35. Tsehmistrenko, S.I., Tsehmistrenko, O.S. (2014). Biochemistry of meat and meat products. Bila Tserkva, 192 p. (in Ukrainian)

36. Yuan, H. Brad Kim, Danyi, Ma, Derico, Setyabrata, Mustafa, M. Farouk, Steven M. Lonergan, Elisabeth, Huff-Lonergan, Melvin, C. Hunt (2018). Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Science*, 144, 74–90. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.04.031

## CHAPTER «AGRICULTURAL SCIENCES»

### SEARCH OF THE OPTIMIZED DECISIONS ON A SELECTION OF PARAMETERS AND VOLUMES OF PRODUCTION OF PIG BREEDING PRODUCTS

### ПОШУК ОПТИМІЗОВАНИХ РІШЕНЬ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ТА ОБСЯГІВ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ СВИНАРСТВА НА ПОТОКОВІЙ ОСНОВІ

Vasyl Voloshchuk<sup>1</sup>  
Mykhailo Pidtereba<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-51>

**Abstract.** The priority of developing pig breeding makes it possible to find ways to increase the number of products produced, and this can be achieved either by building new complexes or by reconstructing the existing ones and transferring to new technologies for housing and feeding animals to increase their productivity. The effective investment in pig breeding is not possible without a preliminary predication of the economic feasibility of making changes, and an effective predication is impossible without the careful profitability calculations. One of the fastest and most effective means of achieving this goal is to create computer programs that, through computer modeling in a short time, would be able to sort through the probable profitability variants when changing the input technological, economic, production and other parameters that accompany the production

---

<sup>1</sup> Doctor of agricultural sciences, Professor,  
Corresponding Member of NAAS, Director,  
Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production of the  
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6980-1293>

<sup>2</sup> Postgraduate Student,  
Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production of the  
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5592-3799>

process. and to determine the effects of changes in input values on pork production and its economic feasibility.

The software development in C++ allows to adapt them to most modern operating systems with 64-bit architecture (Windows, Linux, macOS, etc.), as well as to mobile devices (Android, iOS).

The developed and tested program allows at the same time taking into account the zootechnical indexes of sows' reproductive properties (multiplicity and duration of suckling period), the intensity of livestock growth and the level of preservation of the litter at all stages of rearing, price values of feed production, water value, water value etc. quickly changing the value of these indexes to determine how the need will change for livestock, machine tools, easel and total area, feed, water, energy, etc. that affect on the overall profitability of production of pig breeding products. Several reports are generated for each calculation:

- business project, which specifies the values of input indexes, calculated the monthly need for machines, feed, water, energy, etc., the dates of technological operations of forming and regrouping the livestock and the annual requirement for the current and two following years. The need for service personnel, the amount of costs and revenue and the overall balance of work at the specified parameters are indicated;

- technological report indicating the rhythm step, the need for animals of each technological group, the number of sections for their housing, the machines, their area and the total area occupied by the machines of each technological group, as well as the number of rhythm steps during the year, the number of litter received, weaned piglets transferred for rearing and fattening, the need for machines, machine and production area, the need for feed and its value in a step group and herd during the year, as well as technological indexes for 1 main sow.

The separate file lists the need for the premises, their size, it is noticed the constant livestock in each technology group, the amount of hourly and daily output of animals of each group of heat (kcal, kW, kJ), water vapor (kg) and carbon dioxide (l), minimum required volumes of air exchange (m<sup>3</sup>/h) depending on the period of the year, the amount of manure formed and the nitrogen content in it, the need for land areas for environmentally safe utilisation.

In the case of several consecutive calculations, a file is formed, where all the values of the input and calculated indexes for each calculation are



collected in one table. For each new calculation, a new column with inputs and calculated values is added to this table.

This approach allows to analyze already systematized information and to choose the optimal options of probable development of the enterprise at the values which the enterprise can sustain for a long time while conducting the current production of pig breeding products.

### 1. Вступ

Свинарство завжди було і є пріоритетним напрямом розвитку тваринництва бо дозволяє отримувати впродовж року від однієї продуктивної свиноматки більше двох опоросів, до 28 поросят або до 3 тонн свинини у живій масі. В останні роки на ринку в силу багатьох причин відбулось зниження кількості продукції свинарства при одночасному підвищенні попиту та реалізаційної вартості у живій чи забійній масі, що стимулює інвесторів шукати шляхи нарощування обсягів виробництва товарної свинини, тому що чим вища реалізаційна вартість виробленої продукції при стабільних цінах на корми та енергоносії, тим вища прибутковість виробництва, а отже рентабельність та окупність вкладених інвестицій.

Свинарство приваблює інвесторів ще й тим, що свині мають високу багатоплідність, а реалізаційної маси 110 кг, за гарних умов годівлі та догляду, досягають не більше ніж за 180 днів. Свині всеїдні, свинина добре піддається кулінарній обробці і з неї виробляють значну кількість смачних та поживних продуктів харчування.

Збільшення обсягів виробництва продукції свинарства можливе або шляхом побудови нових приміщень, або реконструкції існуючих з повною заміною технології утримання, годівлі, станкового обладнання, мікроклімату, видалення та утилізації гноівки.

Підприємці завжди ретельно обирають шляхи вкладання капіталу з обов'язковим зазначенням мінімальних ризиків неефективного інвестування та неповернення вкладених коштів. Зацікавленість інвесторів у вкладанні коштів можна підвищити шляхом розробки максимально повного виробничого плану де буде зазначено необхідну кількість маточного поголів'я, кількість отриманого приплоду та реалізованої товарної свинини, необхідні виробничі площі, станкове обладнання, потребу у кормах, воді, енергоносіях, сумах видатків та виручки отриманих за результатами господарської діяльності.

Для складання прогнозу потрібно одночасно врахувати максимум показників, що поребує певної кваліфікації і багато часу на проведення розрахунків.

Найбільш швидкий шлях до отримання прогнозу вірогідності економічної доцільності, створення чи реформування господарства з виробництва продукції свинарства за заданими технологічними та економічними параметрами є проведення комп'ютерного моделювання, при якому у запит вкладаються планові зоотехнічні, виробничі та економічні показники, а у звіті зазначається потреба у поголів'ї, станках, виробничій площі, кормах та ін., балансі виручки та видатків, необхідного рівня повітрообміну та потреба у гноєсховищах і земельних ресурсах для екологічно безпечної утилізації утвореного гною.

Проведення комп'ютерного моделювання дозволяє довільно змінювати значення вхідних показників і відразу ж отримувати прогноз-відповідь на питання, як зміниться потреба у тваринах, кормах, станках, воді, енергоносіях та ін., а також фінансові результати роботи за умови дотримання заданих виробничих параметрів. Наприклад при зміні багатоплідності, або рівня технологічного відходу, при незмінній кількості основних свиноматок змінюється кількість отриманих та відлучених поросят, а отже зміниться потреба у станках та станковій площі для поросят на дорощуванні і відгодівлі. При зміні інтенсивності росту на дорощуванні і відгодівлі та рівня технологічного відходу, буде змінюватись кількість тварин і час їх перебування на кожній фазі, а отже й потреба у станках, кормах та ін.

Наявність комп'ютерної техніки дозволяє за хвилини провести розрахунки і отримати прогноз-відповідь на питання як зміняться обсяги і економічна доцільність виробництва продукції свинарства та потреба у всіх витратних матеріалах при зміні кількості маточного поголів'я, рівня перегулів та вибракування, багатоплідності, рівня технологічного відходу поголів'я, інтенсивності росту, вартості кормів, енергоносіїв та реалізованої продукції.

Більшість державних дослідних господарств мережі Національної академії аграрних наук (НААН) досі працюють за застарілою технологією яка передбачає застосування турової системи опоросів, внаслідок чого господарства мають низькі виробничі показники, селекційний відбір не проводиться, тому тварини мають слабкий гене-

тичний потенціал, а їх годівля здійснюється кормами за незбалансованими раціонами.

З метою підвищення прибутковості та конкурентоспроможності свинарства, у державних дослідних господарствах Президією НААН видано наказ № 125 від 20 липня 2017 року «Про проведення реконструкції виробничих приміщень і впровадження інноваційних технологічних рішень при виробництві продукції скотарства і свинарства у ДП ДГ мережі НААН». Відповідно до наказу Інститут свинарства і АПВ визначено головним з розробки рекомендацій поліпшення прибутковості виробництва продукції свинарства, виконання допроектних пропозицій та об'ємно-планувальних рішень і технологічних підходів згідно яких повинно бути проведено впровадження сучасних інтенсивних промислових технологій із використанням кормів власного виробництва.

Одним із шляхів підвищення економічної ефективності виробництва продукції свинарства є запровадження нових проектно-технологічних рішень які б максимально задовольняли умови переведення ферми на потокову систему отримання опоросів [1; 4, р. 46–48; 7, р. 16]. Переведення господарства на потокову систему дозволяє змінити структуру стада збільшивши кількість відгодівельного поголів'я з одночасним зменшенням основних маток та кнурів, налагодити ритмічне виробництво та реалізацію виробленої продукції, підвищити культуру ведення свинарства, поліпшити умови утримання поголів'я та роботи обслуговуючого персоналу [3, р. 19–20; 5, р. 13; 6, р. 14–15; 8, р. 10].

Хоча керівники господарств і мотивують відмову від переведення на потокову систему ведення свинарства відсутністю достатньої кількості вільних оборотних коштів, високою вартістю кормів, енергоносіїв та ін., але на наш погляд, їх стримує також відсутність чіткого уявлення про економічні наслідки проведення реконструкції і зміни структури стада та технології утримання свиноголів'я.

Оперативно отримувати відповіді на більшість запитань виробничого та економічного характеру можна лише використовуючи спеціально розроблені програмні засоби які були б адаптовані як до сучасної комп'ютерної, так і до мобільної техніки. Використання таких програмних засобів дозволяє оперативно, у будь-яких виробничих умовах, здійснити моделювання виробничої діяльності та отримати відповідь на більшість запитань які є ключовими для інвесторів [3, р. 19–20; 4, р. 47; 5, р. 14].

Проведення прогнозування вірогідності зміни економічної доцільності при зміні вхідних значень технологічних, економічних та виробничих показників дозволяє ще до початку проведення та фінансування робіт по будівництву, реконструкції чи зміні технології утримання і годівлі, скласти уявлення про значення більшості виробничих та економічних параметрів, а також розрахувати ступінь ризику неповернення інвестиційних коштів залежно від припустимої зміни цінових параметрів, кон'юнктури ринку, та інших важко передбачуваних факторів [9, р. 221; 10, р. 11–13].

Замовивши та отримавши один із варіантів технології, представлений як бізнес-план, інвестор не уявляє собі більшості вірогідних ризиків неефективного вкладання коштів і про них він дізнається лише через декілька років роботи, коли вже неможливо нічого змінити бо гроші вкладено, тварини закуплені, корми витрачені, приміщення побудовані або реконструйовані. Залишається лише шукати шляхи вирішення проблеми як повернути вкладене, чого можна було б уникнути провівши декілька послідовних розрахунків та порівнявши результати комп'ютерного моделювання.

Використання мови програмування C++/Qt дозволяє розробляти програмні засоби та адаптувати їх до більшості сучасних операційних систем (Windows, Linux, Android, macOS, iOS), за допомогою яких можна оперативно проводити комп'ютерне моделювання економічної доцільності і встановлювати наслідки зміни значень вхідних показників на обсяги виробництва свинини та економічну доцільність виконання робіт. Дана мова програмування поєднує у собі низькорівневі функціональні можливості мови програмування C з принципами об'єктно-орієнтованого і узагальненого програмування та дозволяє вирішувати сучасні задачі, рівень складності яких постійно зростає [11; 12].

## **2. Мета завдання та засоби вирішення проблеми**

Основною метою даного дослідження була розробка механізму оперативного пошуку оптимальних рішень, які б забезпечували максимальну економічну ефективність роботи господарства з виробництва продукції свиñarства, особливо при переводі малих ферм з турової на потокову систему отримання опоросів.

В основі розробки програмних засобів було використано мову програмування C++ та середовище розробки Qt Creator [11; 12], яке дозволяє створювати зручний для користувача інтерфейс, адаптувати його до розширень різних екранів, використовувати безліч бібліотек для опрацювання вхідних значень, змінюючи за вибором окремі з них і відразу ж отримувати відповіді на питання впливу на виробничу та економічну діяльність виробництва продукції свинарства.

Актуальність представленої розробки полягає у всезростаючому попиті на оперативне прогнозування вірогідності змін роботи господарства шляхом проведення комп'ютерного моделювання зі збереженням часу, коштів, витратних матеріалів та ін. У час глобальної інформатизації, розробка та застосування прикладних програмних засобів набирає все більшого значення. Комп'ютерне моделювання роботи господарства з виробництва продукції свинарства дозволяє суттєво економити час, виконувати розрахунки з високою точністю і створювати прогноз, який допоможе уникнути ризиків неповернення інвестицій вкладених у побудову чи реконструкцію приміщень, заміну технологічного обладнання та на забезпечення життєдіяльності тварин.

### 3. Результати досліджень

Для проведення пошуку оптимізованих технологічних рішень було проведено серію розрахунків, виконаних за допомогою розробленої комп'ютерної програми, яка дозволяє змінюючи значення технологічних, зоотехнічних та економічних показників здійснювати визначення розмірів необхідної виробничої та станкової площі, кількості станків, потреби у кормах, воді, енергоносіях, рівні необхідного повітрообміну залежно від сезону року, обсягів утвореної гноївки та кількості земельних площ для екологічно безпечної її утилізації.

Згідно поставленого завдання для розробки технології виробництва свинини, розробки об'ємно-планувальних рішень та допроектних пропозицій, за основу було взято три варіанти роботи маточника з показниками кроку ритму у 21 (1-4 колонки) та 28 днів (5-6 колонки), табл. 1. Моделювання проводилось з показниками: планова багатоплідність свиноматок на першому опоросі 11 поросят та 12,5 поросят на другому і наступних опоросах з 12 відсотковим рівнем їх технологічного відходу впродовж підсисного періоду (непарні колонки) і відповідно

12 та 13,5 поросят на опорос і 10 відсотковим тенологічним відходом (парні колонки), а також при одночасному утриманні порослих свиноматок у секції яка має 24 станки для опоросу (1-2 колонки, варіант I), 20 станків (3-4 колонки, варіант II) та 22 станки (5-6 колонки, варіант III). Тривалість репродуктивного періоду 157 днів, тривалість поросності 115 днів, холостий період 14 днів та підсисний період 28 днів.

Аналіз отриманих даних вказує на те, що зміна у секції для опоросу з 24 до 20 станків при 21 денному кроку ритму зменшує потребу у основних свиноматках на 17 відсотків, зменшення секції до 22 станків з одночасним подовження кроку ритму до 28 днів призводить до зменшення потреби у основних свиноматках на 26% відносно першого варіанту та на 11% відносно другого варіанту. Поліпшення умов утримання, правильності виявлення охоти і осіменіння свиноматок дозволяє підвищити їх багатоплідність за першим та другим і наступними опоросами на 1-1,5 голови з одночасним зменшенням рівня технологічного відходу на 2%, що призведе до збільшення на 8,4% кількості приплоду у одній кроковій групі. При зміні кількості станків для опоросу у одній секції та тривалості кроку ритму, одночасно змінюється потреба у кількості холостих, умовно-порослих та порослих свиноматок, а відповідно і потреба у загальній кількості станків та розмірах виробничої площі, потреба у кормах, воді, енергоносіях, кількості обслуговуючого персоналу та кількості утвореної гноївки, для якої необхідно передбачити відповідні об'єми місткостей накопичення і зберігання.

У той же час, при перерахунку на 1 основну свиноматку, зміна кількості станків у секції не впливає на кількість опоросів та отриманого приплоду. Зміна кроку ритму з 21 до 28 днів зменшує кількість отриманого приплоду на 5,14%, а відлучених порослят на 5,31 відсотка.

Аналіз даних вказує наскільки важливо визначитись із значеннями показників, які господарство може витримувати при тривалій стабільній роботі, тому що непередбачувана зміна потреби у поголів'ї, станках, виробничій площі, кормах та ін. може призвести до неправильного планування розмірів та розміщення секцій і станків, а також зайвих непланових фінансових видатків.

Кожен з варіантів роботи свинарника-маточника було піддано додатковому аналізу по виявленню впливу рівня середньодобових приростів, багатоплідності свиноматок та збереженості приплоду на

## Порівняльна характеристика роботи свинарника-маточника

Показники	Розрахунок					
	1	2	3	4	5	6
Крок виробн. ритму	21	21	21	21	28	28
Кількість кроків за рік	17	17	17	17	13	13
Всього опоросів за рік	408	408	340	340	286	286
Всього приплоду, гол.	4855	5263	4046	4386	3403	3689
Залишиться до відлучення, гол.	4273	4737	3560	3947	2995	3320
Продано населенню (2%), гол.	91	96	75	88	60	66
Передано на дорошування, гол.	4182	4641	3485	3859	2935	3254
Кнурів (основних, ремонтних, перевіряємих, пробників), гол.	12	12	10	10	11	11
Основних свиноматок, гол.	194	194	161	161	143	143
Холостих, гол.	41	41	33	33	26	26
Умовно поросних, гол.	29	29	24	24	26	26
Поросних свиноматок, гол.	100	100	84	84	69	69
Підсисних, гол.	24	24	20	20	22	22
Поросят-сисунів, гол.	286	310	238	258	262	284
Вибракувано свиноматок, гол.	98	98	75	75	58	58
Для утримання поголів'я потрібно, станків	142	142	118	118	124	124
Потреба в кормах, тонн	279.4	280.2	230.7	231.3	206.9	207.6
На 1 основну свиноматку						
Опоросів за рік	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0
Отримано приплоду	25.0	27.1	25.1	27.2	23.8	25.8
Відлучених поросят, гол.	22.0	24.4	22.1	24.5	20.9	23.2
Переведено на дорошування, гол.	21.6	23.9	21.7	24.0	20.5	22.7

кількість поросят у одній кроковій групі, яка передається на дорошування, тривалість проведення дорошування та відгодівлі, кількість секцій і станків у них, а також на розміри виробничої площі, потребу у кормах та інших витратних матеріалах.

Для візуалізації роботи розробленої комп'ютерної програми, у табл. 2 наводимо дані зміни поголів'я, потреби у секціях та станках дорошування і відгодівлі, комбікормі та ін. лише за першим варіантом розрахунків (24 станки для опоросів у одній секції).

Промоделювавши виробничу діяльність, зміну потреби у станках, кормах та інших витратах при зміні кількості відлучених поросят, яка надходить з маточника в одній кроковій групі при багатоплідності свиноматок 11 на першому і 12,5 на другому і наступних опоросах (колонки 1-3) та при багатоплідності свиноматок 12 і 13,5 відповідно на першому та другому опоросах (колонка 4), а показники середньодобових приростів 320 г на дорощуванні, 550 г на першому етапі відгодівлі і 680 г на другому етапі відгодівлі (колонка 1), з приростами 370, 600 і 730 (колонка 2) та з приростами 430, 650 і 830 г відповідно (колонки 3 і 4).

Зазначені вище зміни інтенсивності росту з одночасною зміною багатоплідності свиноматок та збереження приплоду призводять до збільшення кількості поросят у технологічній кроковій групі майже на 11 відсотків. Покращення догляду та використання більш збалансованих кормів дозволяє підвищити інтенсивність росту поросят на дорощуванні, зменшити час їх перебування у секції на один крок ритму, а підвищення інтенсивності росту на відгодівлі зменшує час їх відгодівлі на один-два крокові періоди та потребу у комбикормі лише для однієї крокової групи більше ніж на 6 тонн.

Зменшення часу перебування на дорощуванні та відгодівлі призводить до зменшення задіяних секцій та станків у них, що дозволяє перерозподілити вільні площі для утримання додаткової кількості поголів'я і на тих же виробничих площах збільшити виробництво продукції свинарства та підвищити економічну ефективність роботи господарства.

Зменшення тривалості періоду дорощування на один кроковий період зменшує кількість поголів'я у секції дорощування на крокову групу (246 гол.). Підвищення рівня середньодобових приростів на відгодівлі, зменшує потребу залежно від кроку ритму на одну, або декілька секцій, і відповідно кількість поголів'я на розмір однієї, або кількох крокових груп. Зміна більшості задіяних у розрахунках параметрів призведе до зміни потреби маточного поголів'я та кількості отриманого приплоду, а отже або виробничі площі залишаться незадіяними, або поголів'я ніде буде поставити, що порушуватиме плановану ритміку роботи.

Інтенсивність росту поросят не впливає на рівень щорічної реалізації товарного поголів'я, але зміна багатоплідності та рівня технологічного відходу і середньодобових приростів призведе до зміни кількості



**Показники виробництва продукції свинарства залежно від кількості товарного поголів'я та технологічних параметрів, варіант I**

Показники	Розрахунок			
	1	2	3	4
Крокова група, гол.	246	246	246	273
Середньодобові прирости на дорощуванні, г/добу	320	370	430	430
Тривалість дорощування, днів	84	84	63	63
I-й етап відгодівлі, г/добу	550	600	650	650
Тривалість I етапу відгодівлі, дн.	63	63	63	63
II-й етап відгодівлі, г/добу	680	730	830	830
Тривалість II етапу відгодівлі, дн.	63	42	42	42
Середній добовий приріст, г	497	527	613	613
Разом, дорощування та відгодівля, дн.	210	189	168	168
К/корму для крокової групи, тонн	106.3	100.4	100.0	110.6
Дорощування, потрібно секцій	5	5	4	4
Знято секцій	4	4	3	3
Станків у 1 секції, шт.	9	9	9	10
Станків задіяно разом, шт	45	45	36	40
Одночасно на дорощуванні, гол	984	984	738	819
Відгодівля потрібно секцій, шт.	7	6	6	6
Знято секцій, шт.	6	5	5	5
Станків у 1 секції, шт	16	16	16	18
Станків задіяно разом, шт	112	96	96	108
Одночасно на відгодівлі, гол.	1419	1183	1183	1308
Після виходу на повну потужність				
Кількість реалізованого поголів'я, гол./рік	3978	3978	3978	4403
Маса реалізації, кг.	110	110	110	110
Комбікорм, разом за рік, тонн	1847	1745	1738	1923
Вихід гнойових стоків, тонн	3318	2823	2742	3033

поголів'я яке буде знаходитись на дорощуванні та відгодівлі, терміну їх вирощування, кількості зайнятих станків, потреби у комбікормах, воді, енергоносіях та ін., що призведе до зміни собівартості виробленої продукції, обсягу щорічної реалізації поголів'я, розмір виручки, прибутковості та рентабельності виробництва продукції свинарства.

Під час розробки комп'ютерної програми у алгоритм було закладено можливості визначення роботи господарства незалежно від його розмірів та технологічних показників. Моделювання роботи розділено на дві частини: маточник (де обліковується утримання свиноматок різних фаз репродуктивного циклу і поросята-сисуні) та відгодівельник (дорощування і відгодівля). Рух поголів'я, потреба у станках, кормах та ін. по кожній з двох груп обліковується окремо, що дозволяє проводити розрахунки як за дві структурно незалежні ферми, так і об'єднано як єдине технологічне та фінансове виробництво.

### **3.1. Автоматизоване формування бізнес-проекту**

При проведенні розрахунків по кожному з них формується свій бізнес-проект, із зазначенням помісячної потреби у поголів'ї, станках, кормах та ін.

#### **Бізнес-проект для господарства «Івківці»**

Свинарник-маточник (холості, поросні, підсисні), отримання та повна реалізація відлучених порослят. Розрахунки виконано на поточний та два наступні роки, тому що за цей період, за нормальних умов роботи, господарство виходить на стабільний технологічний режим. Аналогічно формуються всі звіти і по відгодівельнику. У сформованих бізнес-проектах зазначаються всі задіяні у розрахунках показники вхідних значень, а також розрахункові значення, які супроводжують виробничий процес.

Для входу комплексу у виробничий ритм розраховуються технологічні параметри виробництва свинини – періодичність заводу ремонтного поголів'я, його масу та кількість у одній групі, масу тварин при першому осіменінні, тривалість утримання у індивідуальних та групових станках, відсоток щорічної заміни маточного поголів'я, технологічний відхід порослят у підсисний період, тривалість підсисного та холостого періоду і санобробки станків, необхідні маса та вартість комбікорму, розмір карантинного приміщення, розміри станків, кількість голів у станку, площа на 1 голову, маса та вартість реалізації товарного поголів'я. Маса, вартість та дата завезення молодняку розраховується так, щоб по закінченню періоду карантину можна було розпочати вибір свинок в охоті та їх осіменіння.

Розраховується кількість свиноматок у групі умовно порослих, групі з визначеною поросністю та групі підсисних свиноматок які мають бути після

виходу на повну виробничу потужність при заданому кроку ритму виробництва свинини. У кожній кроковій групі зазначається кількість новонароджених та відлучених поросят, їх маса, кількість реалізованих населенню та переданих на дорошування, реалізаційна вартість та сума виручки. Також розраховується за рік кількість опоросних турів, отриманих, відлучених, реалізованих населенню та переданих на дорошування поросят.

У бізнес-проекті зазначається дата початку осіменіння, кількість, маса та дата першого вибракування після переугулу, дата початку проведення опоросів, кількість, маса та дата першого вибракування після опоросу, маса та дата першого переводу відлучених поросят на дорошування, крокова, місячна та річна кількість переданого поголів'я на дорошування, суми отримані за реалізацію. Нижче наводимо приклад крокової зміни кількості поголів'я (табл. 3).

Таблиця 3

**Крокова зміна кількості поголів'я**

Група тварин	Осіменіння	Реалізація з переугулу	Опорос / Приплід	Відлучення	Реалізація відлучених
При 21-ти денному ритмі у кожній кроковій групі повинно бути					
Свиноматок	29	5	24		
Поросят			310	279	273+ 6*

\* – 273 – переводиться на дорошування, 6 – реалізується населенню. Числа змінюються залежно від введених значень багатоплідності, технологічного відходу та відсотку реалізації населенню.

З метою полегшення управління стадом у розрахунках зазначаються дані про дати (тижні року) проведення технологічних операцій залежно від кроку ритму (табл. 4).

Для полегшення розрахунків кількості і розмірів виробничих приміщень, секцій для різних технологічних груп, станків у секції та сумарної кількості, станкової і загальної площі залежно від кількості свиней та їх кількості у крокових групах, розраховується і зазначається кількість технологічних груп та тварин у групі, яких утримують у даному приміщенні (табл. 5). Додатково розраховується кількість голів у станку, розміри станка, площа на 1 голову та фронт годівлі, багатоплідність свиноматок за першим і другим опоросами, інтенсивність росту поросят у підсисний період, кількість опоросів від однієї свиноматки впродовж року.

**Проведення технологічних операцій у 2020-2021 роках**

Тиждень року	Група тварин				
	Осіменіння	Постановка на опорос*	Опорос	Відлучення	Реалізація відлучених
При 21-ти денному ритмі у кожній кроковій групі повинно бути					
<b>2020 р. (Поточний рік)</b>					
11-й	Група 1				
...					
29-й	Група 7	Група 1	Група 1		
32-й	Група 8	Група 2	Група 2	Група 1	Група 1
...					
50-й	Група 14	Група 8	Група 8	Група 7	Група 7
<b>2021 р. (Наступний рік)</b>					
1-й	Група 15	Група 9	Група 9	Група 8	Група 8
4-й	Група 16	Група 10	Група 10	Група 9	Група 9
...					
52-й	Група 32	Група 26	Група 26	Група 25	Група 25

\* – при малому кроку ритму дати постановки на опорос і проведення опоросу будуть відрізнятись

**Структура стада та потреба у виробничих площах**

Групи тварин	Для 1 групи			Резерв		Разом на комплексі			Груп
	голів	станків	кв.м.	станків	кв.м.	голів	станків	кв.м.	
Холості	41	6	70	1	12	41	7	82	1
Поросні (1..32 доби)	29	29	47	29	47	29	58	94	1
Поросні (33..115 діб)	25	4	44	1	11	100	17	178	4
Підсисні свиноматки	24	24	144	1	6	24	48	287	1
Кнури-плідники	12	12	84	1	7	12	12	84	1
Разом				33	83	206	142	725	

Кількість основних і перевіряємих маток 194 гол.

\* – До поголів'я кнурів-плідників додано ремонтних кнурів та кнурів-пробників.

Також до бізнес-проекту вносяться розрахункові дані де зазначається кількість операторів по догляду за тваринами різних технологічних груп, заробітна плата операторів, сумарна місячна заробітна плата, помісячна потреба у поголів'ї, станках, комбікормі та його помісячній і сумарній вартості, а також обсяги витрат на водопостачання, енергоносії, вартість ветеринарних заходів.

### 3.2. Автоматизоване формування технологічного звіту

Паралельно з бізнес-проектом формується технологічний звіт у якому зазначаються вхідні та розрахункові дані, необхідні для поточного аналізу й прийняття рішень по розробці і впровадженню технології утримання свиней, реконструкції приміщень та їх переоснащення.

Нижче наводимо технологічний звіт отриманий по одному з варіантів розрахунку роботи свинарника-маточника. Аналогічні звіти формуються після кожного розрахунку після проведення зміни вхідних значень (табл. 6).

Таблиця 6

#### Технологічний звіт для господарства «Івківці»

##### Свинарник-маточник (холості, поросні, підсисні)

Розрахунок структури стада та потреби у виробничих площах.	
Вихідні дані	Значення показника
Основних свиноматок, голів	194
Необхідно приміщень	1
довжина приміщень, м	80.0
ширина приміщень, м	18.0
загальна площа приміщень, кв. м	1440.0
Зайнято станками, кв.м	725
Відсоток виробничої площі під станками, %	50.3
<b>Холості свиноматки:</b>	
секцій	1
голів	41
голів у 1 станку	7
станків	7
розміром	3.50x3.50 м
площа приміщення під станками, кв.м	82.0

(Закінчення таблиці 6)

Вихідні дані	Значення показника
<b>Умовно поросні свиноматки (після осіменіння):</b>	
Утримання свинок після осіменіння в індивідуальних станках:	
днів	21
секцій	2
голів	29
станків	58
розміром	2.30x0.70 м
площа приміщення під станками, кв.м	94
<b>Свиноматки з визначеною поросністю:</b>	
у групових станках, днів	87
секцій	4
голів	100
голів у 1 станку	6
станків	17
розміром,	3.00x3.50 м
площа приміщення під станками, кв. м	178.5
<b>Підсисні свиноматки:</b>	
підсисний період, днів	28
зайнято підсисними свиноматками, станків	24
розміром	2.60x2.30 м
секцій	1
заповнюється матками які будуть пороситись, ст.	24
площа під станками для опоросу, кв. м	143.5
площа приміщення під станками, кв. м	287.0
Всього станків, шт.	48
Проведення вет.-сан. обробки, станків	24
Задіяно для проведення вет.-сан.обробки, кв.м...	143.5
<b>Кнури-плідники:</b>	
секцій	1
голів	12
голів у 1 станку	1
станків	12
розміром	3.50x2.00 м
площа приміщення під станками, кв.м	84.0

Якщо крок ритму більше 7 днів, то все відібране крокове поголів'я свиноматок потрібно осіменити впродовж 5 перших днів кроку, інакше період опоросу буде розтягнутий у часі і намічений виробничий ритм не буде дотримано.

У технологічному звіті зазначаються виробничі та репродуктивні показники які дублюються в узагальненій таблиці послідовних розрахунків зміни вхідних та розрахункових значень (див. табл. 1). При кожному новому розрахунку наслідків зміни вхідних параметрів до таблиці додається нова колонка, що суттєво полегшує аналіз введених і отриманих даних та визначення найбільш раціональних, економічно доцільних та технологічно можливих варіантів роботи господарства після зміни технології утримання поголів'я.

При зазначених показниках, маючи 24 свиноматки у одній опоросній групі, за 1 крок (21 дн.) буде отримано 310 поросят, з яких до відлучення залишиться 279 голів, а з урахуванням 2% реалізації населенню, на дорощування та відгодівлю буде передано 273 голови.

Щоб не порушувався намічений кроковий режим руху поголів'я, необхідно кожні три місяці закуповувати та додавати до стада по 15-16 голів з масою 80 кг і утримувати їх до початку осіменіння у карантинному приміщенні розміром не менше 33 м<sup>2</sup> з двома станками площею до 12,5 м<sup>2</sup> кожен.

Для забезпечення наявного поголів'я кормами, необхідно буде використовувати за перший рік до 232 тонн, за другий та наступні по 280 – 283 тонни комбікорму. При зазначенні вартості 1 тонни комбікорму, 1 м<sup>3</sup> води, 1 Квт електроенергії, 1 л пального та ін. автоматично розраховується їх помісячна та річна вартість.

Виручка від реалізації відлученого, відгодованого та вибракуваного поголів'я розраховується на поточний та два наступні роки. За цей період господарство входить у стабільний режим роботи.

Розрахунок реалізації товарного поголів'я проводиться за вибором: повністю живою масою, частково живою масою а частково напівтушами або повністю напівтушами. Для встановлення суми виручки зазначається відсоток розподілу на реалізацію, відсоток забійного виходу, вартість 1 кг живої маси та вартість 1 кг напівтуші.

За кожним розрахунком у бізнес-проекті та технологічному звіті зазначаються фінансові результати господарської діяльності, сума

загальних витрат, виручки від реалізації та баланс витрат і виручки (тис.грн.) впродовж поточного та двох наступних років (табл. 7).

Таблиця 7

**Економічний прогноз роботи господарства, тис. грн.**

Статті витрат	Роки		
	2020	2021	2022
Комбікорм	1328.2	1644.6	1632.0
З них для ремонтного поголів'я	43.6	58.2	58.2
та на невиробничі витрати	13.3	16.4	16.3
Вартість закупівлі постанововчного поголів'я	1470.5		
Вартість закупівлі ремонтного поголів'я	288.0	384.0	384.0
Загальна сума витрат	3735.0	2731.1	2717.4
Річна виручка за реалізовану продукцію	486.0	887.1	887.1
Оцінка переданого на дорошування*	1590.0	3378.6	3378.6
Сумарна річна виручка	2076.0	4265.8	4265.8
Щорічно «виручка – витрати»	-1659.1	1534.7	1548.3
Різниця «виручка – витрати» від початку роботи	-1659.1	-124.4	1424.0
Собівартість 1 кг реалізованої свинини, грн:	62.9	36.6	36.4
Рентабельність виробництва свинини, %		22,5	23,8

\* – оцінка проводиться у випадку коли маточник працює як автономна структура.

Також надається інформація про зоотехнічні та економічні показники роботи господарства у розрахунку на 1 свиноматку/рік. У звіті зазначається кількість опоросів по стаду, приплоду, відлучених поросят, реалізованих населенню та переданих на дорошування, витрачено корму, сума загальних витрат та виручки і баланс між ними.

Аналогічні звіти супроводжують усі варіанти розрахунків, дані яких за бажанням можна формувати у сумарний звіт наведений у табл. 1.

**3.3. Розрахунок виділення тваринами тепла, водяної пари та вуглекислого газу, а також обсягів мінімально необхідного повітрообміну і утворення гноївки**

Програма дозволяє розрахувати, залежно від температури у приміщенні, обсяги виділення тваринами різних технологічних груп тепла, водяної пари та вуглекислого газу, що необхідно для визначення потужностей обігріву або охолодження та мінімально необхід-



них обсягів вентилявання приміщень де утримуються свині, а також денну, місячну та річну кількість підстилкового матеріалу при утриманні свиней у станках та на глибокій підстилці. Також розраховуються річні обсяги утворення гноївки і необхідні земельні площі для екологічно безпечної їх утилізації. Всі розрахункові дані заносяться програмою до окремого файлу, що спрощує його використання (копіювання, перенесення та ін.)

Нижче наведено основні розрахункові значення по виділенню тепла, вуглекислого газу, водяної пари та мінімально необхідних обсягів повітрообміну у приміщенні (табл. 8).

Таблиця 8

**Виділення тваринами тепла, водяної пари та вуглекислого газу при температурі у приміщенні, 18°C, а також необхідні обсяги повітрообміну, куб. м / годину**

Групи тварин	Разом голів	Виділення за годину**			Обсяги повітрообміну у різні періоди року, куб.м/годину		
		кВт*	водяна пара, кг	CO <sub>2</sub> , л	холодний	перехідний	теплий
Холості	41	13.28	6.58	1727	2132	3198	4264
Поросні (1..32)	29	9.39	4.66	1221	1537	2305	3074
Поросні (33..115)	100	32.99	16.34	4289	5504	8257	11009
Підсисні свиноматки	24	18.55	9.17	2411	1584	2376	3168
Кнури (Осн.і перев)	12	6.21	3.07	808	960	1440	1920

\* – за вибором дані можуть бути представлені у кілокалоріях або мегаджоулях

\*\* – У нічний час виділення тепла тваринами зменшується на 20%.

Аналогічно представлено дані про середню кількість виділеного тепла, вуглекислого газу та водяної пари у денний та нічний час. Розраховується потреба у підстилці при утриманні у станках та на глибокій довго незмінюваній підстилці (табл. 9).

Всі розрахунки відбуваються миттєво, одразу після введення всіх необхідних значень показників. Висока швидкодія забезпечується технічними можливостями електронно-обчислювальної техніки та налагодженим алгоритмом використання даних занесених до внутріш-

**Потреба у підстилці для господарства «Івківці»**

Групи тварин	Потреба підстилки на 1 день								
	Разом голів	Солома, кг		Солома, куб.м.		Солома пресована, куб. м		Торф, куб. м	
		*	**	*	**	*	**	*	**
Холості	41	22	157	0.45	3.1	0.09	0.6	0.15	1.0
Поросні (1..32)	29	16	111	0.32	2.2	0.06	0.4	0.11	0.7
Поросні (33..115)	100	55	384	1.10	7.7	0.22	1.5	0.37	2.6
Підсисні свиноматки	24	33	230	0.66	4.6	0.13	0.9	0.22	1.5
Кнури (Осн. і перев)	12	10	69	0.20	1.4	0.04	0.3	0.07	0.5
РАЗОМ: За 1 день	206	136 кг	1087 кг	2.7	21.7	0.5	4.3	0.9	7.2
За 1 місяць		41 ц	330 ц	83	661	17	132	28	220
За 1 рік		50 т	397 т	992	7936	198	1587	331	2645

\* – при утриманні відгодівельного поголів'я у станках

\*\* – при утриманні відгодівельного поголів'я у полегшених спорудах на глибокій підстилці

ньої довідкової бази про потреби тварин різних технологічних груп у кормах, воді, мікрокліматі, підстилковому матеріалі та ін., а також норми виділення тепла, водяної пари та вуглекислого газу і рівнів необхідного повітрообміну у приміщеннях залежно від кількості тварин, їх маси та температури у приміщенні.

Для вищенаведених звітів попередньо було сформовано шаблони таблиць до яких програма вносить необхідні вхідні та розрахункові значення, а також у текстову частину, яка змінюється залежно від умов, що задаються при вводі даних та від більшості значень розрахункових показників. Для формування довідників було використано дані з «Відомчі норми технологічного проектування ВНТП-АПК-02.05 «Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)» [2, р. 34–60].

При розрахунку потреби земельних угідь враховувались річні об'єми утворення гнойових стоків з урахуванням утворення калу та сечі тваринами різних технологічних груп, оскільки кожна з них характеризується груповими особливостями вмісту азоту у сечі та калі.

При утриманні у маточнику зазначеної вище кількості поголів'я, щоденно буде утворюватись до 2 тонн, за місяць близько 76 тонн, а за рік – 912 тонн гнойових стоків, з яких калові маси становитимуть

близько 247 тонн з вмістом азоту 639 кг та 665 тонн сечі з вмістом 134 кг азоту.

Згідно з нормами внесення гною один раз на три роки, щоб кількість внесеного азоту не перевищувала допустимі межі, необхідно передбачити вільні земельні площі під окремі групи сільськогосподарських культур, і втричі більше – при щорічному внесенні (табл. 10).

Таблиця 10

**Об'єми внесення гною під окремі культури та потреба земельних ресурсів**

Культури для внесення гною	При внесенні						
	тонн гною	один раз на три роки			щорічно		
		тонн/ га	га	азоту кг	тонн/ га	га	азоту кг/га
Просапні культури	175	248	0.7	210	83	2.1	70.0
Озима пшениця та ярі зернові	104	148	0.7	125	49	2.1	41.7
Буряки, редька, олійні культури	167	472	0.4	400	157	1.1	133.3
Злаково-бобові суміші	84	236	0.4	200	79	1.1	66.7
Однорічні трави	167	236	0.7	200	79	2.1	66.7
Багаторічні злакові трави)	132	248	0.5	210	83	1.6	70.0
Підживлення багаторічних злакових трав	84	472	0.2	400	157	0.5	133.3
Разом	912		3.5			10.6	

**4. Висновки**

Застосування розробленої комп'ютерної програми для проведення розрахунків технолого-економічного прогнозу роботи господарства з виробництва продукції свинарства дозволяє використовувати сучасну електронно-обчислювальну техніку та мобільні пристрої, оскільки алгоритм є універсальним для використання на сучасних операційних системах.

Аналіз та порівняння отриманих розрахунків, залежно від зміни значення вхідних даних, вказує що навіть незначні зміни вхідних показників сумарно призводять до значної зміни багатьох розрахункових даних, які бажано враховувати ще до початку проведення робіт по будівництву чи реконструкції приміщень щоб уникнути ризиків нерационального інвестування.

Зміна значень технологічних показників призводить до зміни кількості поголів'я та тривалості його перебування у секціях дорощування і відгодівлі, що потребує забезпечення тварин станками, кормами, водою та ін. та впливає на зміну витратної частини у складі собівартості виробленої продукції.

### Список літератури:

1. Бабаев А. Ю. Реконструкция животноводческих ферм как перспективное направление обеспечения прибыльности свиноводства в Украине. *Молодой ученый*. 2013. № 1. С. 81–83.
2. Відомчі норми технологічного проектування. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми): ВНТП-АПК-02.05. Київ : Мінагрополітики, 2005. 98 с.
3. Волощук В. М., Замикула В. В., Підтереба О. І., Смыслов С. Ю., Онищенко А. О. Інформаційні системи у прогнозуванні розвитку галузі свинарства. *Свинарство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2013. Вип. 63. С. 18–22.
4. Волощук В. М., Підтереба М. О., Смыслов С. Ю. Використання сучасних інформаційних технологій у сільському господарстві. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Свинарство»*. 2017. Вип. 70. С. 43–50.
5. Волощук В. М., Смыслов С. Ю., Підтереба М. О. Використання сучасних інформаційних технологій при переведенні підприємств з виробництва продукції свинарства на потокову систему отримання опоросів. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Свинарство»*. 2018. Вип. 71. С. 9–17.
6. Волощук В. М., Смыслов С. Ю., Підтереба О. І., Сокирко М. П. Ефективність проектно-технологічних рішень в галузі свинарства // *Збірник наукових праць ДНУ УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого : Дослідницьке*, 2013. Випуск 17(31), книга 2. С. 203–208.
7. Волощук В. М., Смыслов С. Ю., Підтереба О. І., Ксьонз І. М. Об'ємно-планувальні та технологічні рішення реконструкції приміщень при переведенні свинарства на потокову систему виробництва. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Свинарство»*. 2017. Вип. 70. С. 11–19.
8. Лимар В. О., Волощук В. М., Хатько І. В., Підтереба О. І. Прогресивні технології у свинарстві та їх переваги. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Свинарство»*. 2012. Вип. 60. С. 8–11.
9. Підтереба О. І., Смыслов С. Ю., Сокирко М. П. Ефективність нових технологічних рішень при реконструкції свинарських племінних ферм. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Серія «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва»*. Кам'янець-Подільський, 2013. Вип. 21. С. 221–222.
10. Смыслов С. Ю. Перехід від сезонно-гурового вирощування племінного молодняка свиней на потокову технологію виробництва. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Свинарство»*. 2012. Вип. 61. С. 9–15.

11. Прага С. Язык программирования С++. Лекции и упражнения. 6-е издание – ООО «И.Д. Вильямс», 2012. 1248 с.

12. Макс Ш. Qt 5.3 Профессиональное программирование на С++. Москва, СПб. : БХВ–Петербург, 2015. 928 с.

### References:

1. Babayev, A. Yu. (2013). Rekonstruktsiya zhyvotnovodcheskikh ferm kak perspektivnoye napravleniye obespecheniya pribyl'nosti svynovodstva v Ukraine [Reconstruction of livestock farms as a promising area for ensuring the profitability of pig farming in Ukraine]. *Molodoy uchenyy*, no. 1, pp. 81–83. (in Russian)

2. Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannya. Svnarski pidpriemstva (kompleksy, fermy, mali fermy): VNTP-APK-02.05 [Departmental standards of technological design. Pig farms (complexes, farms, small farms): VNTP-APK-02.05]. K. : *Minahropolityka*, 2005. P. 98. (in Ukrainian)

3. Voloshchuk V. M., Zamykula V. V., Pidtereba O. I., Smyslov S. Yu., Onyshchenko A. O. (2013). Informatsiyni systemy u prohnozuvanni rozvytku haluzi svynarstva [Information systems in predicting the development of the pig industry]. *Svynarstvo. Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk*, Poltava. Issue 63, pp. 18–22. (in Ukrainian)

4. Voloshchuk, V. M., Pidtereba, M. O., Smyslov, S. Yu. (2017). Vykorystannya suchasnykh informatsiynykh tekhnolohiy u sil's'komu hospodarstvi [Use of modern information technologies in agriculture]. *Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk «Svynarstvo»*, issue 70, pp. 43–50. (in Ukrainian)

5. Voloshchuk, V. M., Smyslov, S. Yu., Pidtereba, M. O. (2018). Vykorystannya suchasnykh informatsiynykh tekhnolohiy pry perevedenni pidpryyemstv z vyrobnytstva produktsiyi svynarstva na potokovu systemy otrymannya oporosiv [The use of modern information technologies in the transfer of pork production enterprises to the current system of receiving farrows]. *Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk «Svynarstvo»*, issue 71, pp. 9–17. (in Ukrainian)

6. Voloshchuk, V. M., Smyslov, S. Yu., Pidtereba, O. I., Sokyрко, M. P. (2013). Efektyvnist' proektno-tekhnolohichnykh rishen' v haluzi svynarstva [Efficiency of design and technological solutions in the field of pig breeding]. *Zbirnyk naukovykh prats' DNU UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho: Doslidnytske*, issue 17(31), book 2, pp. 203–208. (in Ukrainian)

7. Voloshchuk, V. M., Smyslov, S. Yu., Pidtereba, O. I., Ks'onz, I. M. (2017). Obiemo-planuval'ni ta tekhnolohichni rishennia rekonstruktsii prymishchen' pry perevedenni svynarstva na potokovu systemu vyrobnytstva [Volumetric-planning and technological decisions for the reconstruction of the premises during the transfer of pig breeding to a current production system]. *Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk «Svynarstvo»*, issue 70, pp. 11–19. (in Ukrainian)

8. Lyamar, V. O., Voloshchuk, V. M., Khat'ko, I. V., Pidtereba, O. I. (2012). Prohresyvni tekhnolohii u svynarstvi ta yikh perevahy [Progressive technologies in pig production and their advantages]. *Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk «Svynarstvo»*, issue 60, pp. 8–11. (in Ukrainian)

9. Pidtereba, O. I., Smyslov, S. Yu., Sokyрко, M. P. (2013). Efektyvnist' novykh tekhnolohichnykh rishen' pry rekonstruktsii svynars'kykh plemynnykh ferm [Efficiency of new technological solutions in reconstruction of pig breeding farms]. *Zbirnyk naukovykh prats' Podil's'koho derzhavnogo ahrarno-tekhnichnoho universytetu. Seriya «Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva»*. Kam'ianets'-Podil's'kyi, issue 21, pp. 221–222. (in Ukrainian)

10. Smyslov, S. Yu. (2012). Perehid vid sezonno – turovoho vyroshchuvania plemynnoho molodniaku svynei na potokovu tekhnolohiiu vyrobnytstva [The transition from seasonal – round rearing pig breeding young pigs to current production technology]. *Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk “Svynarstvo”*, Poltava, issue 61, pp. 9–15. (in Ukrainian)

11. Prata, S. (2012). Yazyk prohrammyrovanyia S++. Lektsyy y uprazhnenyia [C ++ programming language. Lectures and exercises]. 6-e yzdanye – OOO «Y.D. Vyl'yams», 1248 p.

12. Maks SH. Qt 5.3 (2015) Professyonal'noe prohrammyrovanye na S++ [Professional programming in C ++]. M.: SPb.: BKHV–Peterburh, 928 p.

## CHAPTER «ENGINEERING SCIENCES»

### INTENSIFICATION OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING THE CONVECTIVE DRYING OF APPLE TO LOW FINAL MOISTURE

### ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПІД ЧАС КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ЯБЛУК ДО НИЗЬКОЇ ЗАЛИШКОВОЇ ВОЛОГОСТІ

Olena Husarova<sup>1</sup>

Raisa Shapar<sup>2</sup>

Nataliia Sorokova<sup>3</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-52>

**Abstract.** A new form of dried products for Ukrainian consumers is fruit and vegetable chips. Fruit or vegetable chips are thin lamina of fruits or vegetables obtained without frying. Fruit or vegetable chips obtained by drying to low residual moisture. Their characteristic is the lack in the composition of cholesterol, carcinogens and more. The purpose of the work is to intensify the heat and mass transfer during convective drying of apples while creating energy efficient heat production technology for chips. The article also analyzes various methods of preliminary processing of raw materials before drying (steam treatment, treatment in solutions of citric acid and sugar syrup). The paper presents the calculation of the duration of drying of apples by the method of Krasnikov V. The values

---

<sup>1</sup> Researcher, Department of Mass Transfer in Heat Technologies, Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

<sup>2</sup> Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Leader Researcher, Department of Mass Transfer in Heat Technologies, Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

<sup>3</sup> Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Leader Researcher, Department of Mass Transfer in Heat Technologies Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

and the dependences of the Rebinder Rb number on the humidity of the sample for stationary and stage dehydration modes were calculated. In the work the numerical modelling of the process of drying of apples during the production of chips was performed. Physical and mathematical models were constructed for a layer of a colloidal capillary-porous body in the form of an unlimited plate which thickness is much smaller in length. Objects and methods of research. Objects of research were Renet Simirenko apples. Apples dehydration was carried out by the method of convective drying to a residual moisture content of no more than 6%. The duration of the apples' stay in a medium of a certain temperature and moisture content was monitored; the apples temperature in the course of drying process did not exceed the maximum permissible temperature of 60°C for thermally unstable raw materials. Drying experiments and the evaluation of apples quality were performed according to standard procedures. Conclusions. Analysis of modes and methods of pre-treatment of raw materials on drying kinetics and the organoleptic finished product showed that examined treatments provide a high degree of colour preservation of raw materials and accelerating the kinetics compared to untreated samples. We determined the optimal parameters of the drying agent and developed the stage-wise dehydration modes resulting in 20% reduction of process duration and providing high degree of preservation of pectin and other bioactive substances in chips. On the basis of generalization of the results of experimental studies, energy-efficient thermal technology of obtaining chips was developed, which is based on the method of rapid convective drying of scalded by steam apples in the modes of stage dehydration. Unlike the world's developments, the technology involves the production of natural chips without artificial preservatives and fillers with the maximum degree of preservation of natural components of raw materials, the recoverability of which is 85%.

### **1. Вступ**

Останні дані свідчать про те, що калорійні традиційні снеки все більше витісняються з ринку натуральними [1]. Натуральні чипси – доволі новий сушений продукт із високими органолептичними властивостями зневоднений до низької залишкової вологості. Такі чипси одержують із фруктів та овочів. Асортимент чипсів досить широкий,



і включає в себе чипси із яблук, груш, хурми, айви, бананів, буряка, моркви, батату, білих коренеплодів тощо.

Основними статтями витрат, що складають собівартість чипсів є вартість сировини, обладнання, оплата праці, витрати на тепловологу обробку перед сушінням та процес зневоднення, який є основним у технологічному циклі. На собівартість також впливає додавання смакових наповнювачів та консервантів, що передбачено багатьма технологіями [2; 3; 4].

В Україні відсутнє масове промислове виробництво чипсів, а наявні в торгівельній мережі імпорتنі чипси надто дорогі. Зниження собівартості сушеної продукції можна досягнути за рахунок використання енергоефективної теплотехнології та вітчизняного обладнання без додавання смакових інгредієнтів. Отже, розроблення та вдосконалення теплотехнологій перероблення фруктів та овочів є актуальною задачею.

Процес сушіння рослинної сировини має суттєві відмінності від зневоднення класичних колоїдних капілярно-пористих матеріалів. Так, під час сушіння фруктів температура матеріалу не повинна перевищувати величину гранично допустимої температури 60 °С. Інтенсифікація процесу та скорочення його тривалості неможливе за рахунок підвищення температури теплоносія. Перероблення рослинної сировини характеризується високою енергоємністю процесу, низьким к.к.д., підвищеними вимогами до якості кінцевого продукту та його безпечності. При розробці нових теплотехнологій перероблення фруктів необхідно вирішити комплексну задачу – забезпечити економічність процесу та збереженість корисних складових у кінцевому продукті.

Метою роботи є інтенсифікація тепломасообміну під час конвективного сушіння яблук при створенні енергоефективної теплотехнології одержання чипсів.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити та науково обґрунтувати вплив різних способів тепловологої обробки яблук на процес сушіння;
- встановити кінетичні закономірності процесу сушіння;
- отримати формулу для розрахунку тривалості зневоднення яблук;
- розробити фізичну та математичну моделі тепломасообміну процесу сушіння яблук;
- порівняти експериментальні кінетичні закономірності процесу сушіння яблук з теоретичними на базі математичного моделювання.

## 2. Об'єкти та методи досліджень

В якості об'єкту дослідження вибрано яблука сорту Ренет Симиренко, так як вони є популярними та розповсюдженими в Україні. Характерною відзнакою даного сорту є величина цукрово-кислотного індексу – 16...20 (відношення вмісту цукру до кислоти). Така величина оптимальна з точки зору технології зневоднення та органолептичних показників чипсів [5]. Яблука нарізали кружальцями завтовшки  $\delta = 3...4$  мм без видалення насіннєвої камери.

Досліджено наступні способи тепловологої обробки яблук: гіротермічна, у водних розчинах 0,1%-ому, 1%-ому лимонної кислоти та у 10%-ому цукровому сиропі.

Експериментальні дослідження процесу сушіння оброблених яблук проводилось на конвективному сушильному стенді у режимі двостадійного зневоднення. Стенд обладнано автоматизованою системою збору та обробки інформації. Похибка вимірювання температури не перевищувала  $\pm 0,1$  °C, а маси  $\pm 0,001$  г [6].

Дослідження процесу в режимі двостадійного зневоднення проводилось таким чином: на першій стадії температура теплоносія була рівною 80 °C, а на другій, при наближенні температури яблук до 55 °C, температуру теплоносія знижували до температури 60 °C [5]. Процес проводили до залишкової вологості яблук  $W^c = 6\%$ .

Аналіз процесу сушіння здійснювався на підставі побудованих кривих кінетики  $W^c = f(\tau)$  і швидкості  $dW^c / d\tau = f(W^c)$  зневоднення.

Для визначення відновлюваності чипсів використовувалась методика [7], для розрахунку тривалості зневоднення яблук та числа Ребіндера – експериментально-розрахункові методи досліджень [8].

Обробка експериментальних даних та розрахунки виконувались із застосуванням сучасних комп'ютерних програм "Sooshka2\_2" та Excel; для математичної моделі авторська програма на мові Fortran.

## 3. Вплив тепловологої обробки яблук на процес сушіння

З метою інтенсифікації масоперенесення при сушінні проводять тепловологу обробку рослинної сировини паром, водою або розчинами. У результаті такої обробки видаляється повітря, змінюється маса та об'єм матеріалу, збільшується клітинна проникність, інактивуються ферменти, гідролізується протопектин, покращується відновлюва-

ність. Для кожного конкретного виду сировини існує певна тривалість тепловологої обробки та сушіння, ефективність якої залежить від матеріалу, його ступеня зрілості та подрібнення [6].

На рис. 1 зображені криві кінетики та швидкості сушіння попередньо оброблених яблук різними способами. Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що всі досліджені способи обробки прискорюють процес зневоднення порівняно із свіжими (необробленими) зразками [9; 10].

Так, при обробці зразків у 10%-ому розчині цукрового сиропу суттєвого скорочення не спостерігається, тривалість процесу зменшується лише на 5%. Це можна пояснити закупоркою капілярів цукровим сиропом та утворенням плівки на поверхні об'єкту зневоднення.

Обробка яблук у 0,1%-ому та 1%-ому розчинах лимонної кислоти скорочує тривалість процесу порівняно із свіжими на 9% та 13% відповідно, із чого витікає, зниження кислотності середовища сприятливо впливає на клітинні оболонки, підвищуючи їхню проникність та інтенсивність процесу видалення вологи.

Тривалість зневоднення гігротермічно оброблених яблук є найменшою і скорочується на 20% порівняно із свіжими, що пов'язано з впливом даного способу обробки на тканини, який призводить до втрати біополімерами гідрофільних активних центрів та зниженню їх водоутримуючої здатності, тобто до перерозподілу фракцій води – зменшенню кількості зв'язаної води та збільшенню вільної [11]. Саме від кількості зв'язаної води залежить тривалість процесу, а, отже, енергетична складова процесу сушіння. Необхідний ефект досягається за температури яблук  $t = 85...95^{\circ}\text{C}$  із витримкою протягом 30...40 с [5].

При гігротермічній обробці найбільш повно зберігається природний склад сировини, в той час, як при обробці у розчинах відбувається перехід розчинних сухих речовин сировини (2...4%) у бланшувальний розчин [12].

Аналіз кривих швидкості сушіння (рис. 1, б) показав, що процес зневоднення протікає в періоді падаючої швидкості. Відсутність періоду постійної швидкості пояснюється умовами проведення процесу сушіння. Швидкість сушіння всіх оброблених зразків вища, ніж свіжих протягом процесу. Максимальна швидкість сушіння спостерігається для гігротермічно оброблених зразків, яка у 1,8 разів вища, ніж свіжих.

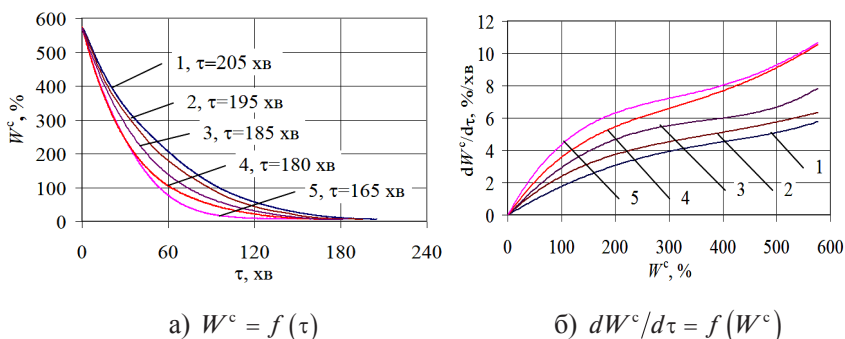


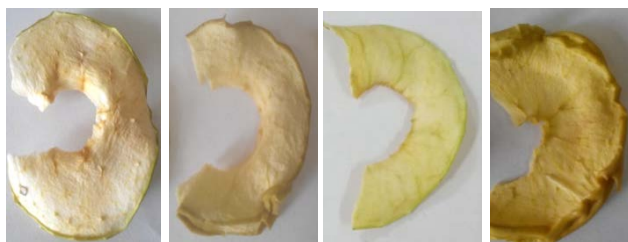
Рис. 1. Вплив способів тепловологої обробки яблук на кінетику (а) та швидкість (б) процесу сушіння,  $V = 1,5$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п. [10]:

1 – свіжі яблука, 2 – оброблені у 10%-ому цукровому сиропі, 3 – оброблені у 0,1%-ому розчині лимонної кислоти, 4 – оброблені у 1%-ому розчині лимонної кислоти, 5 – гіротермічно оброблені

Дослідження показали, що розглянуті способи обробки вирівнюють та стабілізують колір оброблених яблук протягом тривалого часу. Колір зразків (рис. 2, г), оброблених у цукровому сиропі, після сушіння набув жовтуватого забарвлення, а колір зразків, оброблених у розчинах лимонної кислоти – висвітлився (рис. 1, в). Крім того, зразки втратили натуральний гармонійний смак притаманний свіжим яблукам. Найкращі органолептичні показники спостерігались для гіротермічно оброблених яблук – смак та запах властивий свіжим яблукам, світло-кремовий колір та хрустка структура (рис. 2, б).

З метою визначення якості чипсів із яблук проведено дослідження по визначенню коефіцієнта набухання та відновлюваності (рис. 3).

Визначенню відновлюваності передують розрахунок коефіцієнта набухання, який показує відносне збільшення маси продукту після набухання та визначає здатність до відновлювання початкових властивостей матеріалу. Відновлюваність ( $B$ ) матеріалу є більш показовою величиною, яка безпосередньо показує наскільки вологість відновленого матеріалу наближається до вихідної, яка приймається за 100% [7]. Чим вищі значення відновлюваності, тим краща якість отриманого сушеного продукту, тим меншого негативного впливу він зазнав під час сушіння.

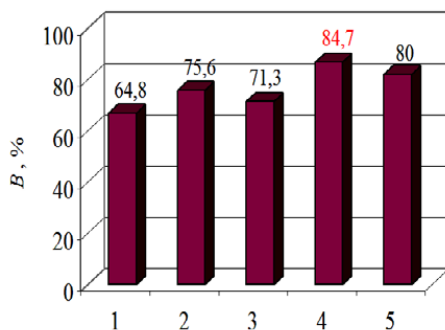


а) б) в) г)

**Рис. 2. Вплив тепловологої обробки**

**на органолептичні показники чипсів із яблук:**

а – свіже яблуко; б – гіротермічно оброблене; в – обробка у 1%-ому розчині лимонної кислоти; г – обробка у 10%-ому цукровому сиропі



**Рис. 3. Динаміка зміни відновлюваності чипсів залежно від способу тепловологої обробки:**

1 – у 10%-ому розчині цукрового сиропу; 2 – у 1%-ому розчині лимонної кислоти; 3 – у 0,1%-ому розчині лимонної кислоти; 4 – гіротермічна обробка; 5 – свіжі

Як бачимо з рис. 3, найбільші значення відновлюваності  $B = 84,7\%$  отримано для гіротермічно оброблених зразків. Проте, повного відновлювання чипсів не спостерігається. Це пов'язано з тим, що під час сушіння яблук відбувається усадка матеріалу, деформація структури паренхімних тканин, стискання вільних міжклітинних просторів по яким всмоктується вода. Через тепловий вплив відбувається необо-

рогта денатурація речовин, які у нормальному стані зв'язують воду та набухають [6; 9].

Як бачимо з наведених досліджень, гіротермічна обробка яблук інтенсифікує зневоднення у 1,8 разів, порівняно зі свіжими, забезпечує отримання 100% натурального продукту без додавання додаткових смакових компонентів із високими органолептичними показниками. Скорочення тривалості зневоднення тотожно скороченню енерговитрат на процес. Усе вищевикладене доводить перевагу гіротермічної обробки.

#### 4. Розрахунок тривалості процесу сушіння яблук

Метою розрахунку було визначення тривалості процесу зневоднення під час виробництва чипсів із яблук.

Враховуючи, що процес сушіння є дуже складним і являє собою сукупність пов'язаних одне з одним явищ, які протікають всередині та на поверхні матеріалу, а також всередині сушильної камери, розрахунок тривалості сушіння ускладнений. Для розрахунків використовують наближені методи, які базуються на вивченні загальних закономірностей процесу, що зближує теорію та практику сушіння. Ці методи застосовують для широкого класу матеріалів із різною геометричною формою. Для розрахунку нами використано експериментально-розрахунковий метод Краснікова В.В. [8].

За отриманими експериментальними кривими зневоднення яблук побудовано узагальнену криву кінетики сушіння та представлено її в напівлогарифмічній системі координат  $W^c - N\tau$  (рис. 4), що дозволило визначити критичні вологості в точках перегину  $W_{кр}^c$ , відносні коефіцієнти сушіння та залежність (2) для визначення тривалості процесу.

Характер побудованої кривої підтвердив протікання процесу сушіння яблук у другому періоді падаючої швидкості. Другий період складається з трьох частин, на графіку добре видно точки перегину, які відповідають критичним вологостям.

Значення відносних коефіцієнтів сушіння  $\chi_2 = 13,9 \cdot 10^{-4}$  ( $530 \geq W^c \geq 125$ ),  $\chi_3 = 14,3 \cdot 10^{-4}$  ( $125 \geq W^c \geq 25$ ) та  $\chi_4 = 15,5 \cdot 10^{-4}$  ( $25 \geq W^c \geq 6$ ). Загальна тривалість  $\tau_3$  процесу сушіння яблук:

$$\tau_3 = \frac{1}{N_{\max}} \left( \frac{1}{\chi_2} \lg \frac{W_{п}^c}{W_{кр1}^c} + \frac{1}{\chi_3} \lg \frac{W_{кр1}^c}{W_{кр2}^c} + \frac{1}{\chi_4} \lg \frac{W_{кр2}^c}{W_{к}^c} \right), \quad (1)$$

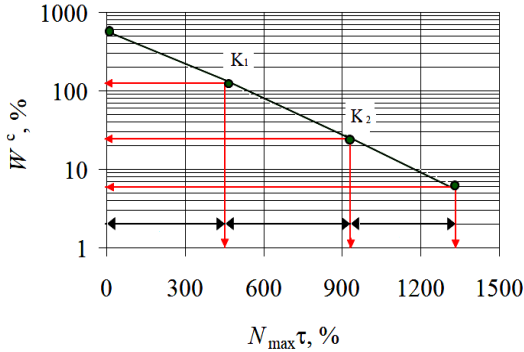


Рис. 4. Узагальнена крива кінетики процесу сушіння яблук

де  $N_{\max}$  – максимальна швидкість сушіння,  $W_{\text{п}}^c$ ,  $W_{\text{к}}^c$  – початкова та кінцева вологості матеріалу,  $W_{\text{кр1}}^c$ ,  $W_{\text{кр2}}^c$  – перша та друга критичні вологості у критичних точках  $K_1$ ,  $K_2$ . Значення критичних вологостей  $W_{\text{кр1}}^c = 125\%$  та  $W_{\text{кр2}}^c = 25\%$ .

Підставивши у вираз (1) всі шукані величини, отримано вираз для визначення загального часу сушіння яблук:

$$\tau_3 = \frac{1335}{N_{\max}} \quad (2)$$

Використовуючи отриману залежність (2), можна заздалегідь оцінити тривалість процесу сушіння яблук під час виробництва чипсів при зміні параметрів теплоносія.

### 5. Розрахунок числа Ребіндера, як критерію оптимізації процесу сушіння

Число Ребіндера визначає відношення кількості теплоти, яке пішло на нагрівання матеріалу до кількості теплоти витраченої на випаровування води з нього. Число  $Rb$  є основним критерієм сушіння, і його часто називають критерієм оптимізації процесу сушіння [13].

Величина числа Ребіндера залежить від температурного коефіцієнта сушіння  $b$ , питомої теплоємності вологого матеріалу  $c$  та питомої теплоти випаровування  $r$ , тобто від форм зв'язку води з матеріалом [6; 14]:

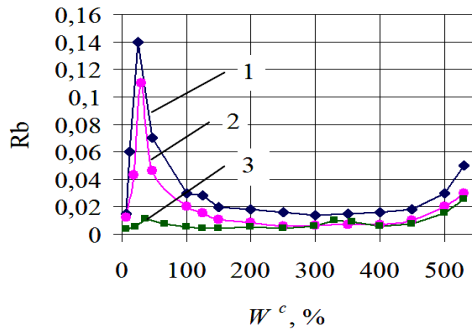
$$Rb = \frac{c}{r} \frac{d\bar{t}}{d\bar{U}} = 100 \frac{c}{r} \frac{d\bar{t}}{dW^c} = \frac{c}{r} b, \quad (3)$$

де  $\bar{t}$  – середня температура матеріалу,  $\bar{U}$  – середній питомий вологовміст матеріалу.

Процес необхідно проводити таким чином, щоб значення числа Ребіндера були мінімальними, тобто так, щоб уся підведена теплота витрачалась на випаровування вологи з матеріалу.

Значення числа Ребіндера розраховано для гіротермічно оброблених яблук, які зневоднювались за різних умов проведення процесу сушіння (рис. 5). Залежність числа Ребіндера має складний характер із характерними перегинами, які відповідають визначеним критичним вологостям і вказують на видалення різних видів вологи.

Як бачимо, збільшення температури сушильного агента (криві 1, 2) від 80 до 120°С призводить до збільшення числа Rb по абсолютному значенню. Величина числа Ребіндера для зразків, зневоднених за стадійних режимів (крива 3), порівняно зі зразками зневодненими за стаціонарних режимів (криві 1, 2), менші вже на початку процесу та суттєво знижуються наприкінці. Зниження числа Rb майже до нуля вкінці процесу свідчить про те, що уся підведена теплота використовується на випаровування вологи з яблук.



**Рис. 5.** Зміна числа Rb під час сушіння яблук при  $V = 1,5$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.:  
1 –  $t = 120^\circ\text{C}$ , 2 –  $t = 80^\circ\text{C}$ , 3 –  $t = 80\dots 60^\circ\text{C}$



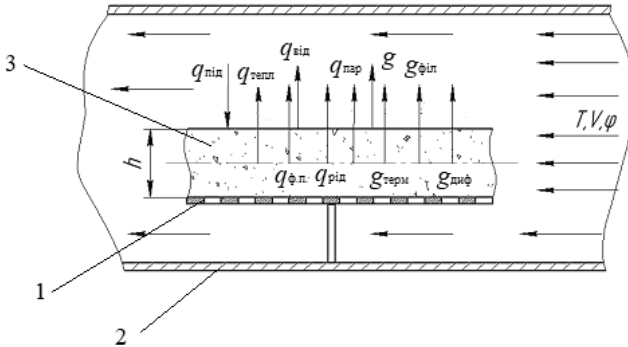
Така залежність числа Ребіндера доводить, що поєднання гіротермічної обробки яблук та стадійного режиму зневоднення є економічно доцільним та сприяє зниженню енергетичних витрат на процес сушіння.

## 6. Динаміка процесу сушіння яблук на базі математичного моделювання

### 6.1. Фізична та математична моделі тепломасообміну при сушінні

Яблука відносяться до класу колоїдних капілярно-пористих матеріалів, що представляють гетерогенну систему, яка включає тверду фазу, утворюючу пористий каркас, а також рідку, парову і повітряну фази, що частково заповнюють пори. У процесі сушіння об'єм таких матеріалів зменшується в декілька разів завдяки усадці каркасу, що має суттєвий вплив на динаміку тепломасоперенесення та фазових перетворень.

**Фізична модель процесу.** Математична модель повинна відображати фізичні процеси, що відбуваються в системі (рис. 6.) „сушильний агент – вологий пористий матеріал – перфорована решітка”.



**Рис. 6. Фізична модель процесу сушіння яблук:**  
1 – перфорована решітка; 2 – сушильна камера;  
3 – шар колоїдного капілярно-пористого матеріалу

Відносно тонкий шар колоїдного капілярно-пористого матеріалу товщиною  $h$  обдувають теплоносієм із температурою  $T$ , швидкістю руху  $V$  і відносною вологістю  $\varphi$ . Природа матеріалу визначається його

теплофізичними властивостями. Вважаємо, що перфорована решітка майже не ускладнює контакт матеріалу з сушильним агентом. До зовнішніх поверхонь шару від сушильного агента підводиться теплота  $q_{\text{під}}$ , яка йде на випаровування вологи і нагрівання матеріалу. З парою, що утворюється при випаровуванні і виходить назовні  $g$ , відводиться теплота  $q_{\text{від}}$ . Теплота  $q_{\text{під}}$  в пористому шарі включає теплопровідну складову  $q_{\text{тепл}}$ , складові, що враховують теплоту фазових перетворень  $q_{\text{ф.п.}}$ , перенесення теплоти при русі рідкої  $q_{\text{рід}}$  і парової  $q_{\text{п}}$  фаз. Величина  $g$  складається з термовологопровідної  $g_{\text{терм}}$ , дифузійної  $g_{\text{диф}}$  складових і складової, що враховує фільтраційне перенесення вологи  $g_{\text{фільтр}}$ .

**Математична модель процесу.** У [15] була побудована математична модель дифузійно-фільтраційного тепломасоперенесення, фазових перетворень та усадки при сушінні колоїдних капілярно-пористих матеріалів. Вона може бути спрощена, оскільки яблука є термолабільним матеріалом і в процесі сушіння їх температура не перевищує гранично допустимого значення, яке нижче за 100 °С. При таких умовах основний механізм переносу є дифузійний і фільтраційним механізмом можна знехтувати [13]. У цьому випадку математична модель включає диференційне рівняння перенесення енергії (4), перенесення маси рідкої (5) та парової фаз (6):

$$c_{\text{еф}} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_{\text{еф}} \frac{\partial T}{\partial x}) - r_{\text{еф}} I_v, \quad (4)$$

$$\frac{\partial U_p}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (D_p (\frac{\partial U_p}{\partial x} + \delta_p \frac{\partial T}{\partial x})) - I_v - \frac{U_p}{(1 + \varepsilon_v)} \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial \tau}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial U_n}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (D_n (\frac{\partial U_n}{\partial x} + \delta_n \frac{\partial T}{\partial x})) + I_v - \frac{U_n}{(1 + \varepsilon_v)} \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial \tau}, \quad (6)$$

де  $c_{\text{еф}}$  – ефективна теплоємність, Дж/(кг · К);  $\tau$  – час, с;  $T$  – температура, К;  $\lambda_{\text{еф}}$  – ефективна теплопровідність, Вт/(мК);  $r_{\text{еф}}$  – ефективна питома теплота фазового переходу, яка враховує випаровування вільної та зв'язаної води, кДж/кг;  $I_v$  – інтенсивність випаровування рідини в одиничному об'ємі;  $U_n$  і  $U_p$  – об'ємні концентрації пари та рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $D_n$ ,  $D_p$  – ефективний коефіцієнт дифузії пари та рідини в порах матеріалу, м<sup>2</sup>/с;  $\delta_n$ ,  $\delta_p$  – відносні коефіцієнти термодифузії пари та рідини, кг/(м<sup>3</sup>·К);  $\varepsilon_v$  – відносна об'ємна деформація (усадка).

Новим у математичній моделі є те, що у рівнянні (4) використано ефективну питому теплоту фазового переходу  $r_{\text{еф}}$ , визначену експериментально, яка враховує випаровування вільної та зв'язаної води для свіжих та бланшованих парюю яблук, що дозволило підвищити точність розрахунку.

Ефективний коефіцієнт дифузії рідини  $D_p$  в порах матеріалу знаходиться по формулі Нікітенко М.І. [16]:  $D_p = \gamma_{Dp} [\exp(A_D / RT) - 1]^{-1}$ , а для пари і повітря, відповідно до молекулярно-кінетичної теорії газу,  $D_{\text{п}} = D_{\text{пов}} = \gamma_{D\text{п}} T^{3/2} / P_{\text{г}}$ , де  $\gamma_{Dp}$  і  $\gamma_{D\text{п}}$  – дифузійні коефіцієнти;  $A_D$  – енергія активації в процесі дифузії, Дж.

Тиск  $P_{\text{г}}$  газової суміші в порах матеріалу представляється сумою парціальних тисків пари  $P_{\text{п}}$  і повітря  $P_{\text{пов}}$ :

$$P_{\text{г}} = P_{\text{п}} + P_{\text{пов}}. \quad (7)$$

При дифузійному механізмі тепломасоперенесення тиск парогазового середовища в порах тіла дорівнює тиску навколишнього середовища  $P_{\text{т}}$  (теплоносія), і парціальний тиск повітря в порах:

$$P_{\text{пов}} = P_{\text{т}} - P_{\text{п}}. \quad (8)$$

Парціальний тиск пари знаходиться із рівняння стану для розріджених газів:  $P_{\text{п}} = \rho_{\text{п}} RT / \mu_{\text{п}}$ , де густина пари  $\rho_{\text{п}} = U_{\text{п}} / \Psi_{\text{г}}$ ;  $\mu_{\text{п}}$  – молярна маса пари, кг/моль.

Об'ємна частка в матеріалі, що зайнята газовою фазою:  $\Psi_{\text{г}} = 1 - \Psi_{\text{т}} - \Psi_{\text{р}}$ , де  $\Psi_{\text{т}} = 1 - \Pi$  – об'ємна частка твердої фази,  $\Psi_{\text{р}} = U_{\text{р}} / \rho_{\text{р}}$  – об'ємна частка рідкої фази,  $\rho_{\text{р}}$  – густина рідкої фази. Тоді густина повітря  $\rho_{\text{пов}} = P_{\text{пов}} \mu_{\text{пов}} / (RT)$ , де  $\rho_{\text{пов}}$  – молярна маса повітря, кг/моль, а об'ємна концентрація  $U_{\text{пов}} = \rho_{\text{пов}} \Psi_{\text{г}}$ .

Інтенсивність випаровування рідини на зовнішній поверхні шару знаходиться як різниця потоків рідини, що випаровується і пари, що конденсується, по формулі Нікітенко М.І. [15]:

$$I = \gamma_{\text{с}} \left\{ \varphi_{\text{п}} \Big|_{x=0} \left( \exp \left[ A / (RT \Big|_{x=0}) \right] - 1 \right)^{-1} - \varphi_{\text{в}} \left( \exp \left[ A / (RT_{\text{т}}) \right] - 1 \right)^{-1} \right\}. \quad (9)$$

Тут  $\gamma_{\text{с}} = \varepsilon \rho_{\text{р}} \delta^* / 4$ , кг/м<sup>2</sup>с – поверхневий коефіцієнт інтенсивності ви-паровування,  $\varepsilon$  – коефіцієнт випромінювання, 1/с;  $\delta^*$  – товщина шару конденсату, у якому відбувається випаровування;  $\bar{\delta} = \delta / \delta^*$  при  $0 < \delta < \delta^*$  і  $\bar{\delta} = 1$  при  $\delta > \delta^*$ ,  $\delta$  – товщина шару конденсату;  $\varphi_{\text{п}}$  – воло-

гість пароповітряної суміші в порах, якій згідно ізотермі сорбції відповідає концентрація  $U_p$  в даній точці тіла [16];  $A$  – енергія активації, Дж;  $R$  – універсальна газова стала, Дж/(кмоль · К);  $T_i$  і  $\varphi_t$  – параметри зовнішнього парогазового середовища (теплоносія);  $x$  – нормаль поверхні пластини.

За умови локальної термодинамічної рівноваги фаз, коли температури фаз в даній точці тіла є рівними, вираз для інтенсивності випаровування в одиничному об'ємі тіла впливає з (11):

$$I_v = \gamma_c [\exp(A / RT) - 1]^{-1} (\varphi_t - \varphi) S. \quad (10)$$

Тут  $S$  – площа контакту рідкої та газової фаз в неповністю заповненій рідиною порах одиничного об'єму тіла, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $\varphi = P_n / P_n^*$  – відносна вологість газу в порах тіла при даній температурі. Тиск насичення визначався по формулі Нікітенко М.І. [16]  $P_n = N_p \sqrt{T} [\exp(A / RT) - 1]^{-1}$ , де  $N_p = \text{const}$ , результати якої добре узгоджуються з табличними даними.

Для визначення площі  $S$  контакту рідкої і газової фаз в порах одиничного об'єму тіла, які не повністю заповнені рідиною, в роботі [15] отримана формула (за умови, що  $\varphi = \varphi_t$ ):

$$S = \frac{2\sqrt{1 - \varphi_t}}{\rho_p \delta^*} \frac{\partial U_p}{\partial \varphi_t}. \quad (11)$$

Похідна  $\partial U_p / \partial \varphi_t$  знаходиться з рівняння ізотерми десорбції. Дані по рівноважній вологості  $W_p^c$  для яблук взято з власних експериментальних даних,  $U_p = 0,01W_p^c \rho_t$ .

Відносна об'ємна деформація  $\varepsilon_v$  визначається на основі рівняння термо-концентраційного деформування Нікітенко М.І. [15], яке для тіл найпростішої конфігурації вирішено аналітично. Для пластини  $0 < x_1 < h$ , деформований стан якої пов'язаний із симетричною неоднорідністю полів концентрації компонентів і температури уздовж осі  $x_1$ , аналітичне рішення має вигляд [17]:

$$\varepsilon_{22} = \varepsilon_{33} = \frac{1}{2\delta} \int_0^{2\delta} N dx, \quad \varepsilon_{11} = \frac{1 + \nu_{II}}{1 - \nu_{II}} N - \frac{2\nu_{II}}{1 - \nu_{II}} \varepsilon_{22}, \quad \varepsilon_{12} = \varepsilon_{13} = \varepsilon_{23} = 0.$$

$$\varepsilon_v = (1 + \varepsilon_{11})(1 + \varepsilon_{22})(1 + \varepsilon_{33}) - 1. \quad (12)$$

Тут  $N$  – термоконцентраційна функція, Н/м<sup>2</sup> [15],  $N = \beta_T (T - T_0) + \sum \beta_\psi (\omega_\psi - \omega_{\psi 0})$ , де  $\beta_T = (\partial x / \partial T) / x$  – коефіцієнт лінійного термічного розширення, 1/К;  $\beta_\psi = (\partial x / \partial \omega_\psi) / x$  – коефіцієнт

лінійної усадки при зміні масовмісту  $\omega\psi$  компоненту  $\psi$  ( $\psi = p, n, пов$ ),  $1/K$ ;  $\nu_{II}$  – коефіцієнт Пуассона.

Для системи (4) – (6) повинні бути задані граничні умови:

– на осі симетрії мають місце умови симетрії полів  $T, U_x, w_x, (\chi = p, n)$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_p}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_n}{\partial x} \right|_{x=0} = 0. \quad (13)$$

– на зовнішній поверхні  $x = \delta$  ( $\delta = h/2$ ) шару задаються умови 3-го роду

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{эф} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\delta} &= \alpha (T_\tau - T|_{x=\delta}) - r_{эф} I, \\ D_p \left( \frac{\partial U_p}{\partial x} \Big|_{x=\delta} + \delta_p \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\delta} \right) &= I, \\ -D_n \left( \frac{\partial U_n}{\partial x} \Big|_{x=\delta} + \delta_n \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\delta} \right) &= -\gamma_{пс} (U_n|_{x=\delta} - \rho_{пс} \psi_n). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Тут  $\gamma_{пс}$  – коефіцієнт зовнішнього парообміну, м/с,  $\rho_{пс}$  – парціальна густина пари в теплоносії,  $\psi_n$  – об’ємна частка пари,  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>К).

Математична модель є істотно нелінійною і розв’язати її можливо лише чисельним методом. Було розроблено метод, що базується на явній тришаровій різницевій схемі М.І. Нікітенко [15] та процедурі розчеплення алгоритму по фізичним факторам. Перевагою даною схеми є її простота, оскільки вона є явною, а також можливість обирати довільні кроки різницевої сітки, як для неявної схеми. Згідно цієї схеми, на нерівномірній різницевій сітці  $x_{i+1}^n = x_i^n + h_i^n$ , ( $i=0,1,\dots,l$ ),  $\tau_n = nl$ , ( $n = 0,1,\dots, l > 0$ ) апроксимація рівняння переносу рідини (5):

$$\begin{aligned} (1 + \Omega_p) \frac{\tilde{U}_{p,i}^{n+1} - U_{p,i}^n}{l} - \Omega_p \frac{U_{p,i}^n - U_{p,i}^{n-1}}{l} = \\ = \frac{\left[ (D_{p,i+1}^n + D_{p,i}^n)(U_{p,i+1}^n - U_{p,i}^n) - (D_{p,i}^n + D_{p,i-1}^n)(U_{p,i}^n - U_{p,i-1}^n) \right]}{2h_i^2} - I_v \end{aligned} \quad (15)$$

$$\frac{U_{p,i}^{n+1} - U_{p,i}^n}{l} = \frac{\tilde{U}_{p,i}^{n+1}}{1 + \tilde{\varepsilon}_v^{n+1}} \frac{\tilde{\varepsilon}_v^{n+1} - \varepsilon_v^n}{l}, \quad (16)$$

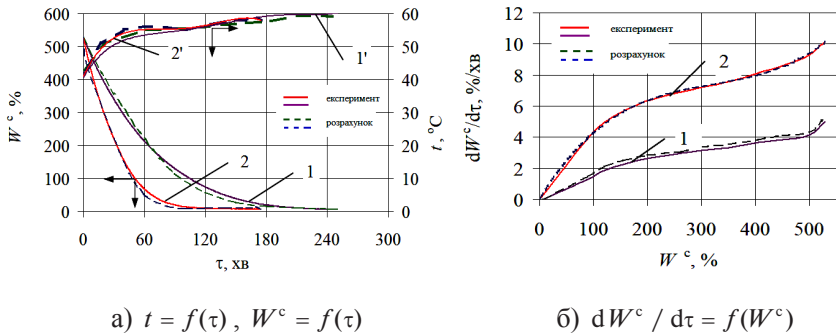
де  $\Omega_p > 0$  – ваговий параметр. Таким же чином апроксимується диференційне рівняння переносу пари (6). Рівняння переносу енергії (4), що не містить функцію  $\varepsilon_v$ , апроксимується рівнянням, аналогічним

(15). Різницеві рівняння мають похибку апроксимації:  $l + h_t^2$ , і необхідні умови стійкості  $l \leq \frac{h^2}{2a}(1 + 2\Omega)$ , де  $a$  приймає значення  $a = \lambda_{\text{еф}} / c_{\text{еф}}\rho$ ,  $D_p$  та  $D_n$  відповідно для рівнянь (4), (5), (6).

## 6.2. Порівняння теоретичних та експериментальних закономірностей процесу сушіння

Результати чисельного моделювання процесу сушіння свіжих та бланшованих парюю яблук за різних режимів та їх порівняння з експериментальними даними наведено на рис. 7.

Порівнюючи отримані на рис. 7 розрахункові та експериментальні залежності  $t = f(\tau)$ ,  $W^c = f(\tau)$  та  $dW^c / d\tau = f(W^c)$  бачимо, що повного співпадіння даних не спостерігається.



**Рис. 7. Зіставлення експериментальних**

**та розрахункових залежностей зміни середньої температури зразка, вологості яблук (а) та швидкості сушіння яблук (б)**

**під час зневоднення при  $V = 1,5$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.:**

1, 1' – свіжі яблука,  $t = 60$   $^{\circ}\text{C}$ , 2, 2' – бланшовані яблука  $t = 80 \dots 60$   $^{\circ}\text{C}$

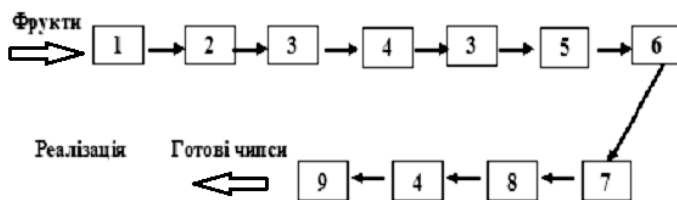
Це можна пояснити тим, що при складанні математичної моделі не можливо врахувати всі параметри та умови ведення процесу зневоднення яблук через його складність.

Розбіжність між розрахунковими та експериментальними даними не перевищує допустимі 5%. Гарне узгодження експериментальних та отриманих за моделлю розрахункових даних свідчить про адекватну математичну модель.

Дану математичну модель дифузійного тепломасоперенесення, фазових перетворень та усадки при сушінні можна використовувати при плануванні режимів ведення процесу зневоднення яблук при виробництві чипсів без тривалих та дорогих експериментів.

### 7. Енергоефективна ресурсозберігаюча теплотехнологія одержання чипсів

На підставі узагальнення результатів експериментальних досліджень розроблена енергоефективна ресурсозберігаюча теплотехнологія одержання чипсів в основу якої покладено метод швидкісного конвективного сушіння гіротермічно оброблених яблук у режимах стадійного зневоднення (рис. 8).



**Рис. 8. Технологічна схема одержання чипсів із яблук:**

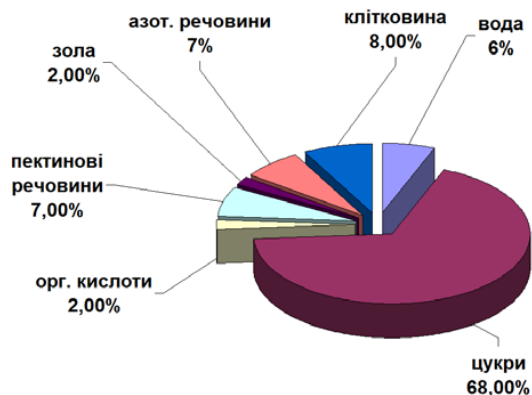
- 1 – бункер; 2 – ванна для замочування; 3 – мийна машина;
- 4 – інспекційний транспортер; 5 – машина для різки;
- 6 – апарат для гіротермічної обробки; 7 – сушильна установка;
- 8 – апарат для охолодження; 9 – пакувальне обладнання

Забезпечення якісних характеристик чипсів відбувається на кожному етапі виробництва, відповідно до умов підготовки сировини до сушіння з дотриманням режимів обробки та стадійних режимів зневоднення, а також умов пакування та зберігання чипсів. Недотримання режимів призводить до збільшення тривалості зневоднення і відповідно енергетичної складової процесу та погіршує якість чипсів.

Щоб уникнути псування готового продукту, упаковані чипси із яблук рекомендується зберігати в приміщеннях при відносній вологості повітря не більше 75%, температурі – не більше 20 °C із дотриманням санітарних правил відповідно до розроблених технічних умов

ТУ У 10.3-05417118–053:2016 „Чипси фруктові, овочеві” протягом 12 місяців із дати виробництва.

Хімічний склад чипсів, зображений на рис. 9, свідчить про збереження цінних складових вихідної сировини. Високий вміст пектинових речовин у чипсах із яблук дозволяє віднести їх до пектиновмісних продуктів.



**Рис. 9.** Хімічний склад чипсів із яблук на 100 г С.Р. [10]  
Енергетична цінність (калорійність) 100 г чипсів із яблук не менше 754 кДж

Вживання таких продуктів підсилює захисні сили організму і сприяє його оздоровленню, вони набувають лікувально-профілактичної та направленої дії і можуть споживатися регулярно без обмеження в часі [6; 10].

Наявність вуглеводів в чипсах, як однієї з найважливіших складових повноцінного раціону харчування людини, забезпечує організм енергією та підтриманням оптимального рівня цукру в крові.

## 8. Висновки

У роботі з метою інтенсифікації тепломасообміну досліджено закономірності кінетики сушіння гіротермічно оброблених яблук у режимах стадійного зневоднення. На підставі отриманих результатів та їх узагальнення розроблено енергоефективну ресурсозберігаючу теплотехнологію виробництва чипсів із яблук, яка забезпечує отри-



мання натурального продукту без смакових добавок, ароматизаторів і стабілізаторів. Інноваційність результатів досліджень підтверджено 5 патентами України.

Під час виконання поставлених завдань було одержано наступні результати:

1. Досліджено вплив різних способів тепловологої обробки яблук на процес сушіння, органолептичні показники чипсів та їх відновлюваність. Дослідження доводять перевагу гіротермічної обробки.

2. Аналіз кінетичних закономірностей процесу сушіння яблук показав, що стадійні режими зневоднення гіротермічно оброблених яблук збільшують швидкість зневоднення у 1,8 разів та скорочують тривалість до 20% .

3. На підставі досліджень кінетики вологообміну отримано формулу для розрахунку тривалості процесу сушіння яблук при одержанні чипсів. Побудовано залежності числа Ребіндера за різних режимів, характер яких доводить доцільність поєднання стадійного режиму зневоднення та гіротермічної обробки яблук.

4. Розроблено фізичну та математичну моделі дифузійно-фільтраційного тепломасоперенесення, фазових перетворень та усадки при сушінні яблук.

5. Порівняння експериментальних та розрахункових температурних кривих, кривих кінетики та швидкості сушіння доводить адекватність розробленої математичної моделі. Розбіжність між кривими не перевищує 5%.

### Список літератури:

1. Страшинська Л.В., Ніколаєнко І.В. Маркетингові аспекти розвитку ринку снєків в Україні. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Том 23. № 1. С. 75–84.
2. Zhao Guoying (2015). CN. Patent No.104305041A.
3. Plocharski, W., Konopacka, D. (2002). PL. Patent No. WO 2002074102.
4. Спосіб производства пищевого продукта из яблок: пат. 10964 Беларусь: МПК<sup>8</sup> A23L 1/212, A23B 7/005. № a20060519; заявл. 26.05.2006; опубл. 30.08.2008.
5. Спосіб виробництва чипсів з яблук з цукрово-кислотним індексом 16...20: пат. № 123213 Україна: МПК A23B 7/02; F26B 3/04; F 26B 3/02; A23L 19/00. № a201600007; заявл. 04.01.2016; опубл. 26.02.2018. Бюл. № 4.
6. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини : монографія. НАН України, Ін-т техн. теплофізики. Київ: СІК ГРУП Україна, 2018. 228 с.

7. Силич А.А., Зозулевич Б.В., Поповский В.Г. Сушка плодов и винограда в туннельных сушилках. Москва : Легкая и пищевая пр-ть, 1982. с. 80.
8. Красников В.В. Кондуктивная сушка. Москва : Энергия, 1973. 288 с.
9. Гусарова О.В. Вплив видів бланшування яблук на процес зневоднення під час виробництва чипсів. *Збірник наукових праць «Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі»*. 2018. № 1(27). С. 147–156. DOI: <http://doi:10.5281/zenodo.1306519>
10. Шапар Р.О., Гусарова О.В. Вплив тепловологої обробки на кінетику сушіння пектиномісних матеріалів. *Наукові праці ОНАХТ*, 2019. № 83(1). С. 62–66. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v83i1.1419>
11. Михайлик В.А., Дмитренко Н.В., Михайлик Т.А. Влияние термического воздействия на состояние воды в растительных тканях. *Промышленная теплотехника*, 2007. Т. 29. № 7. С. 212–217.
12. Королев А.А. Разработка технологии плодоовощных чипсов : автор. дис... канд. техн. наук: 05.18.01 / ГНУ ВНИИ консервной и овощесушильной промышленности. Москва, 2013. 24 с.
13. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. Москва-Ленинград : Государственное энергетическое издательство, 1956. 464 с.
14. Ребиндер П.А. О формах связи влаги с материалом в процессе сушки. *Труды Всесоюзного совещания по интенсификации процессов и улучшения качества материалов*. Москва : Профиздат, 1958. С. 14–15.
15. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н., Кольчик Ю.Н. Молекулярно-радиационная теория и методы расчета тепло- и массообмена. Киев : Наукова думка, 2014. 744 с.
16. Никитенко Н.И. Проблемы радиационной теории тепло- и массопереноса в твердых и жидких средах. *Инженерно-физический журнал*. 2000. Т. 23. № 4. С. 851–860.
17. Сорокова Н.М. Моделивання тепло-і масопереносу при зневодненні пористих тіл з метою оптимізації процесу сушіння : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.14.06 / ІТТФ НАН України. Київ, 2004. 20 с.

### References:

1. Strashynska, L.V. & Nikolaienko, I.V. (2017). Marketynhovi aspekty rozvytku rynku snekiv v Ukraini [Marketing aspects of snack market development in Ukraine]. *Naukovi pratsi NUKhT*. 23(1), pp. 75–84.
2. Zhao Guoying. (2015). CN. Patent No.104305041A.
3. Plocharski, W., Konopacka, D. (2002). PL. Patent No. WO 2002074102.
4. Arnaut, S. A., Lovkis, Z. V. (2006). BLR. Patent No. 10964.
5. Sniezhkin, Yu. F., Shapar, R. O. & Husarova, O. V. (2018). *UA. Patent No. 123213*.
6. Sniezhkin, Yu. F., & Shapar, R. O. (2018). *Teplomasoobminni tekhnolohii pererobky pektynovnisnoi syrovyny: monohrafiia* [Heat and mass transfer technologies of processing of pectin-containing raw materials: monograph]. NAN Ukrainy, In-t tekhn. teplofizyky. Kyiv: “SIK HRUP Ukraina”, 228 p.

7. Silich, A. A., Zozulevich, B., V., & Popovskii, V. G. (1982). *Sushka plodov i vinograda v tunnelnykh sushilkakh* [Drying fruits and grapes in tunnel dryers]. Moskva: “Legkaia i pishchevaia pr-t”, 80 p.

8. Krasnikov, V. V. (1973). *Konduktivnaia sushka* [Conductive Drying]. Moskva: “Energiia”, 288 p.

9. Husarova, O. V. (2018). Vplyv vydiv blanshuvannia yabluok na protses znevodnennia pid chas vyrobnytstva chypsov [Influence of types of blanching of apples on the process of dehydration during the production of chips]. *Zbirnyk naukovykh prats „Prohresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restoranoho hospodarstva i torhivli”*, no. 1(27). pp. 147–156. DOI: <http://doi:10.5281/zenodo.1306519>

10. Shapar, R. O., & Husarova, O. V. (2019). Vplyv teplovolohei obrobky na kinetyku sushinnia pektynovmisnykh materialiv [Influence of Heat and Moisture Treatment on the Kinetics of Drying Pectin-Containing Product]. *Naukovi pratsi ONAKhT*, no. 83(1), pp. 62–66. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v83i1.1419>

11. Mikhailik, V. A., Dmitrenko, N. V., & Mikhailik, T. A. (2007). Vliianie termicheskogo vozdeistviia na sostoiianie vody v rastitelnykh tkaniakh [The effect of thermal effects on the state of water in plant tissues]. *Promyshlennaia teplotekhnika*, no. 29(7), pp. 212–217.

12. Korolev, A. A. (2013). *Razrabotka tekhnologi plodoovoshchnykh chipsov* [Development of technology for fruit and vegetable chips]: avtor dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.18.01. GNU VNII konservnoi i ovoshchesushilnoi promyshlennosti. Moskva, 24 p.

13. Lykov, A. V. (1956). *Teplo- i massobmen v protsessakh sushki* [Heat and mass transfer in drying processes]. Moskva-Leningrad: “Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatelstvo”, 464 p.

14. Rebinder, P. A. (1958). O formakh svyazi vlagi s materialom v protsesse sushki [About forms of moisture and material bonding during drying]. *Trudy Vsesoiuznogo soveshchaniia po intensifikatsii protsessov i uluchsheniia kachestva materialov*. Moskva: “Profizdat”.

15. Nikitenko, N. I., Snezhkin, Iu. F., Sorokova, N. N., & Kolchik, Iu. N. (2014). *Molekuliarno-radiatsionnaia teoriia i metody rascheta teplo- i massobmena* [Molecular radiation theory and methods for calculating heat and mass transfer]. Kiev: “Naukova dumka”, 744 p.

16. Nikitenko, N. I. (2000). Problemy radiatsionnoi teorii teplo- i massoprenosa v tverdykh i zhidkikh sredakh [Problems of the radiation theory of heat and mass transfer in solid and liquid media]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal*, no. 23(4), pp. 851–860.

17. Sorokova, N. M. (2004). *Modeliuvannia teplo-i masoprenosu pry znevodnenni porystykh til z metoiu optymizatsii protsesu sushinnia* [Modelling of heat and mass transfer during dehydration of porous bodies in order to optimize the drying process]: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.14.06. ITTF NAN Ukrainy. Kyiv, 20 p.

## NONCONTACT TESTING OF UNDERGROUND PIPELINES CORROSION

Roman Dzhala<sup>1</sup>

Vasyl Dzhala<sup>2</sup>

Bohdan Verbenets'<sup>3</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-53>

**Abstract.** Underground pipelines (UP) transport gas, oil, water, raw materials and products of chemical industry. Influence of environment can lead to corrosion damages of pipelines. It causes large losses and troubles with supplies of transported products, pollution of environment, accidents and catastrophes.

For increase of reliability and continuation of exploitation time of metallic pipelines complex corrosion protection (CP) is used. Insulation and cathodic polarization are used. To prevent of irreversible corrosion damages is necessary to establish CP on time and in appropriate places. It requires periodic surveys for detection of corrosion hazardous places. Traditional contact electromagnetic methods of UP inspection from the ground surface are labor-consuming and not informative enough. In-tube inspection can detect existing damages of pipeline metal but cannot obtain needed information about state of anti-corrosion protection. Efficiency of surveys significantly increases with use of contactless methods, in particular, non-contact current measurement (CM). But for their broad use appropriate tools for selection and data processing are needed.

---

<sup>1</sup> Doctor of Technical Sciences,  
Head of the Laboratory of Electrophysical Methods of Non-Destructive Testing,  
H.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute,  
National Academy of Sciences of Ukraine. Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory  
of Electrophysical Methods of Non-Destructive Testing,  
H.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute,  
National Academy of Sciences of Ukraine

<sup>3</sup> Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory  
of Electrophysical Methods of Non-Destructive Testing,  
H.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute,  
National Academy of Sciences of Ukraine

*Subject* of this study is contactless method for UP current measuring, control of insulation condition parameters and detection of places of corrosion. *Methodology* of study is based on triune mathematical model of UP electromagnetic field. It consists of solutions of electrodynamic boundary value problems, theory of electric circuit with distributed parameters and calculation of electric and magnetic fields of spreading currents in conducting medium. The *aim* of the study is development of contactless method and creation of technical devices for quality estimation of insulation for express surveys and control of CP state parameters along the route.

As consequence of work in Karpenko Physico-Mechanical Institute of Natinal Academy of Sciences of Ukraine method of contactless current measurement is developed and new CM devices for control of UP CP state are created. *New technology* of integral, differential and local inspection and quantitative estimation of UP CP parameters are developed. New methods for express detection of places with unsatisfying insulation, determination of cathodic protective current density distribution, transitional resistance “pipe-to-ground” and its components (insulation, ground and polarization resistances) is proposed. Efficiency of created method and apparatus are tested by comparison with results of traditional contact measurements on test benches and during surveys on UP in operation. Designed method and CM apparatus significantly increase effectiveness of diagnostic inspections, quantity and quality of received information about state of UP CP.

### 1. Introduction

Underground pipelines (UP) play important role in industry, everyday life and are important strategic factor of economic complex. In different regions of the world there are more the 2 million km of pipelines, through which gas, oil, raw materials and products of chemical industry are transported.

Influence of environment can lead to corrosion damages of pipelines and other metallic constructions [1-3]. It causes large losses and troubles with supplies of transported products, pollution of environment, accidents and catastrophes. Corrosion accident rate of UP is 27% and increases to unsuitability of construction for further operation. For increase of reliability and continuation of operation time of metallic pipelines complex corrosion protection (CP) is used. For this purpose insulation and cathodic polarization

are used (electrochemical CP). To prevent of irreversible corrosion damages is necessary to establish CP on time and in appropriate places. It requires periodic surveys for detection of corrosion hazardous places. Scientists of different specialties are working to solve this complex problem.

Traditionally UP are investigated using contact electrometric methods from the ground [1; 2; 4]. This is labor-consuming and not informative enough. In-pipe pigging inspection can detect existing damages of pipeline metal, but cannot obtain needed information about state of CP. Efficiency of testing can be significantly increased using non-contact methods of measurement. But for their broad use appropriate methods and tools for data selection and its processing for qualitative estimation of control object parameters, which is actual problem.

In Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine method of non-contact CM is developed and new CM devices for control of UP CP state are created. **New technology** of integral, differential and local inspection and quantitative estimation of CP parameters distribution along route are developed. The **goal** of the study is development of non-contact CM method and creation of technical tools for detection of insulation and cathodic polarization for express testing and control of CP state of metallic UP. For achieving of this goal next scientific problems must be solved:

- To analyze current state of methods for corrosion control of UP and informative signs of electromagnetic field on UP route; to explore current leakage effect in UP;

- To develop method and to create apparatus for non-contact CM, placement, orientation and depth of occurrence determination;

- To develop method for determination of cathodic protection current distribution, transitional resistance and express control of CP parameters on UP.

**Methodology** of study is based on triune mathematical model of UP electromagnetic field. It consists of solutions of electrodynamic boundary value problems, theory of electric circuits with distributed parameters and calculation of electric and magnetic fields of spreading currents in conducting medium. Investigation and equipment development are based on theory of informational-measurement technology, mathematical simulation with use of empirical and heuristic approaches, laboratory and

full-scale testing. Efficiency of created method and equipment are tested by comparison with results of traditional contact measurements on test benches and during surveys on UP in operation.

In this article analysis of current state of UP corrosion control system, results of scientific and technical development of methods and tools for diagnostic surveys, UP CP state control and some of their applications are showed.

### **2. Analysis of evolution of UP corrosion control systems**

As result of many investigation and practice of long operation complex method of CP for steel underground and underwater pipelines (UP) using insulation and cathodic polarization are developed [1–4]. During building and operation under influence of aggressive environment insulation are decayed, aged, usually faster then metal of UP. Electrodynamical situation along route changes over time. It requires periodic testing of CP state to make reasonable planning of timely repair for prevention of damages and accidents.

Today problem of diagnostic testing of metallic UP state is connected to end of service life of significant number of arterial gas and oil pipelines, increase of number of damages, accidents, catastrophes. Investigation of corrosion state, estimation of reliability for further operation, determination of types and scope of repairs for providing reliable functioning of pipelines are needed [4]. This problem causes special attention because many potentially dangerous arterial pipelines of high pressures are laid on densely populated territory. Problem is complicated because of large length of pipelines, existing of obstacles and inhomogeneity of conditions along route. Inhomogeneity of environment characteristics causes irregularity of corrosion process in different places on route. Thus timely detection of most probable places of corrosion is very important.

Information-measuring systems (IMS) are used for investigation, control, diagnostic and monitoring of UP technical state. These systems can be divided on three types [4] (Figure 1). Stationary IMS are implemented using systems of sensors placed in certain points on route and connected to control point. Such systems provide only information obtained in these points and integrally between them. In-pipe pigging inspection of metallic pipeline walls is implemented with special magnetic or ultra-sonic systems

[5; 6], which are moving through pipeline without stopping the flow of product. However, in-pipe inspection can detect existing damages of pipeline metal but cannot obtain needed information about state of CP. Therefore, investigations of UP outer surface state (insulation, electric polarization) and environment are needed. Systems of the field expeditionary investigation provide most information about CP state. Three types of IMS can be distinguished among them (Figure 1).

Traditionally contact electrometric methods are used for CP inspection [1; 2; 4]. They are simple enough both in idea and implementation. However, their efficiency is limited by labor intensity and difficulties with providing enough reliable contact of measuring electrodes with pipeline and ground. Besides, in electrometric methods only part of electric field information is used. Magnetic field was more often used to placement determination of pipelines.

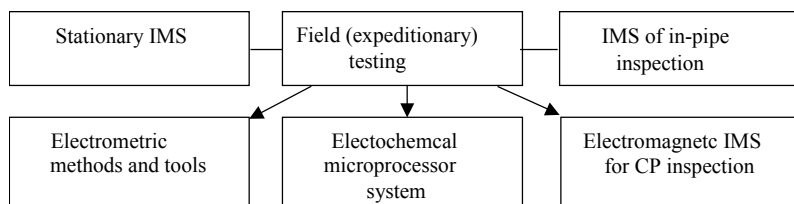


Figure 1. Systems of testing main pipelines

**Non-contact methods** of inspection have significant advantages in comparison with traditional contact methods due to mobility, efficiency and amount of information [4; 6–8]. But they need special measuring tools, thus, they hadn't such broad use. For implementation of non-contact methods complex investigation of informative signs of field and measured signals, creation of algorithms, measuring tools and data processing were necessary.

Methods for inspection of object without direct access, has been developed in solving problems in field theory, measurement, data processing in the field of physicometrics, geophysics, and also in problems of inspection of hidden objects and conductive engineering communications, non-destructive testing and technical diagnostics [6; 8]. Problem of selection measured signals, quantitative estimation of their informative signs and determination due to them of object parameters is one of the most important



among problems, connected to creation of high-efficient IMS for search and inspection of hidden objects [8]. This complex problem acquired special relevance for problems of increasing efficiency and informativeness of UP CP inspection and determination of most probable place of corrosion on arterial pipelines.

Solution of this problem is connected first of all to study of relationships between spatial and frequency characteristics of electromagnetic (EM) fields and object parameters and selection of measured field characteristics considering technical possibilities of measurement implementation, creation of electromagnetic IMS, its algorithmic, hardware, software and methodic providing [8; 9]. Thus relevance of research works caused by necessity of investigation of UP EM field informative signs, development of new methods of non-contact CM and determination of object parameters, creation of scientific and methodic foundations for construction and functioning of electromagnetic IMS with appropriate algorithmic, methodic and technical equipment, designed for inspection of UP and associated with them metallic constructions.

Currents have valuable information about corrosion processes of metal in conductive medium. **Current distribution** is most sensitive to composition of environment and insulation state. But use of traditional contact method for CM in UP require special arrangement and thus is unusable for express testing [4; 6–8].

For increasing of efficiency and informativeness of corrosion state control in arterial pipelines researches and development of electromagnetic method and tools of UP diagnostic testing was conducted in Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. Development of these method of non-contact UP inspection is connected to research works of PMI about problems of informative signs detection for medium, construction materials, orientational and irradiating structures, and also electromagnetic measurements, IMS, non-destructive testing, technical diagnostic and corrosion researches. Aspects of these problems were also developed in other institutes of the NASU, in institutes and on enterprises of Naftogaz of Ukraine, and in European, American and Asian countries [4; 6–10].

Currently **non-contact** methods have broad use only for pipelines and cables placement determination, sometimes for detection of insulation damages

[4; 7; 8]. Possibilities of non-contact CM for control of current distribution in cathodic protection stations, and for quantitative estimation of distribution of UP transitive resistance and its components are little used. Therefore, popularization, broad use and further development of these method are relevant.

### **3. Theoretical foundations of UP non-contact testing**

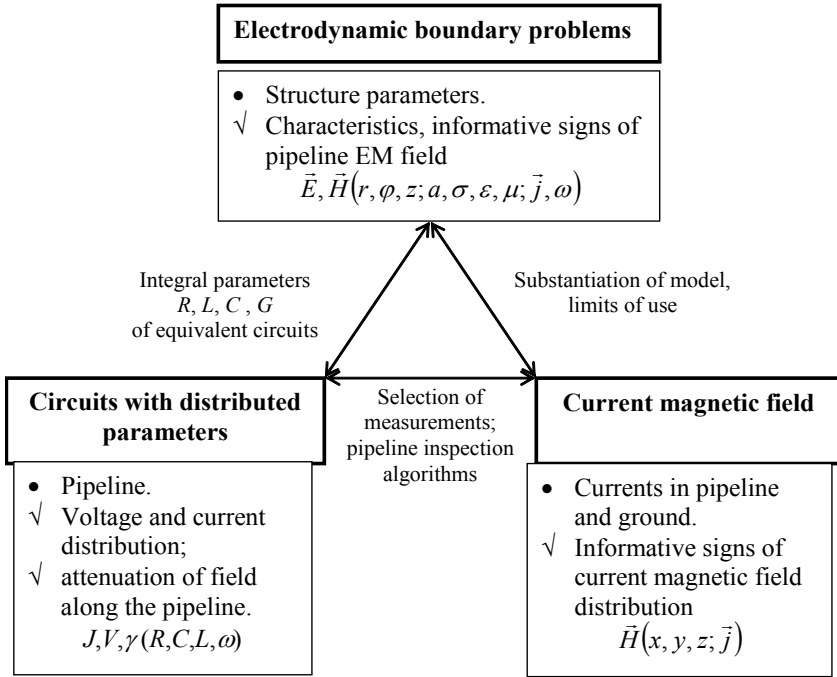
Based on previous development of electromagnetic field theory for cylindrical partially shielded channeling and radiating structure **triune mathematical model** (TUMM) of EM field of steel insulated underground pipeline is proposed [8]. This model is consists of solutions of electrodynamic boundary value problems, theory of electric circuits with distributed parameters and calculation of electric and magnetic fields of spreading currents in conducting medium (Figure 2).

From electrodynamic point of view steel insulated UP (Figure 3) is cylindrical multilayer structure. Electrical and magnetical components of its field can be described using longitudinal components of electric and magnetic Hertz vector, that satisfy Helmholtz equation, to which Maxwell equations comes down. Field changing with frequency  $\omega$  in each of structure subregions is represented by decomposition on elementary wave functions like

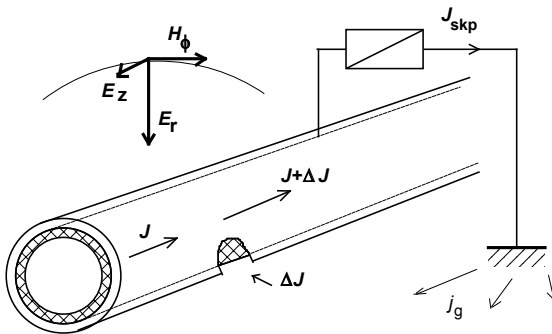
$$\Pi_{z,l}^{e,m}(r, \phi, z, \omega) = \int \sum_n R_n^{e,m}(v_l r) \cdot \Phi_n^{e,m}(\phi) \exp(\pm i\gamma z) \exp(i\omega t) d\gamma, \quad (1)$$

where  $v_l^2 = k_l^2 - \gamma^2$  is transversal wave numbers of subregions ( $l=b, T, i, c$ );  $k_l = \sqrt{\omega^2 \varepsilon_l \mu_l - i\omega \mu_l \sigma_l}$  is wave number of medium;  $a_l$  is radius of pipeline and insulation; radial field functions  $R_n^{e,m}(v_l r)$  are combinations of Bessel functions due to boundary values and describe electromagnetic and metric parameters of structure; constants of propagation  $\gamma$  can be established from dispersion transcendent equation obtained from boundary value systems [6; 8].

Field spreads along pipeline, in general, like quasi-TEM-wave, which exists at all (including zero) frequencies [6; 8; 9]. Therefore, we can represent UP as long line, which distributed parameters  $R, L, C, G$  is determined by solving of electrodynamic boundary problems. Dependencies of field spreading on structure parameters are explored using equivalent circuits, which visually show electromagnetic processes and facilitate its analysis. For natural soils, which usually is non-magnetic and weakly conductive for frequencies less than 1500 Hz, UP current magnetic field (1) at the small distances from pipeline is described by formulae



**Figure 2. Structure of triune mathematical model (TUMM) of UP EM field**



**Figure 3. Underground pipeline with insulation and station of cathodic protection (SCP). Components of current EM field of UP**

$$H_{\phi} = \frac{J_0}{2\pi r} \exp(i\omega t - i\gamma z), \text{ when } |v_{c'}| \ll 1, \quad (2)$$

which gives ground to simulate UP as linear power lines [6; 8].

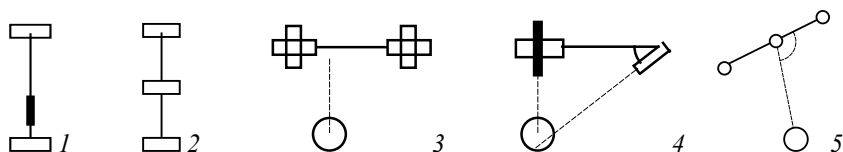
The basis of TUMM is EM field theory for cylindrical structures. Object complexity leads to cumbersome solutions, so it is methodologic expedient to consider simplified models (equivalent circuits, linear currents). Characteristics of magnetic field spatial distribution is the basis for choice of measured parameters (input values) and construction of algorithms, non-contact CM systems and UP coordinates. TUMM makes available to efficiently explore electromagnetic phenomena, connected to UP corrosion state, facilitate detection and analysis of EM field informative signs and development of methods and CP inspection systems, is theoretical basis of EM IMS [6; 8].

Using TUMM spatial characteristics of low-frequency current field (Figure 4–5) along the route and UP leakage current [6; 8; 9] is analyzed. Relationships between geometrical and electric UP parameters and its EM field characteristics are explored, informative signs and range of measured values are detected. Analysis of pipeline phenomenological circuit is performed, simplified equivalent circuits for partial cases of direct and alternating current is build, method for estimation of area of UP insulation damaged is proposed [6]. Dependencies of distribution characteristics and pipeline EM field spreading on its parameters, insulation state and conductivity of medium is calculated. Required parameters of measuring transformers and devices [6; 8] are determined; algorithms for input signal processing and determination of measured values (currents, voltages, resistances) as informative signs for estimation of UP CP state are created [10].

#### 4. Non-contact UP CM

There is three method to measure current along pipeline without rupture of power line: 1 – due to voltage on pipeline region with known resistance using Ohm's law; 2 – due to magnetic flux in closed closed loop covering power line using Ampère's circuital law; 3 – due to characteristics of current magnetic field spatial distribution using Biot-Savart law. First method requires contact with pipeline metal. Second method is non-contact and integral, but requires circular access to pipeline. Third method is differential and can be apply to our problem.

Theoretical basics of differential method of non-contact CM as a basis for systems of input transformers of non-contact UP CM design is developed [4; 6; 8; 10]. Classes of gradient (radial) and parallax (azimuthal) methods are distinguished. Their informative, metrological and technological properties are analyzed and compared. New methods of non-contact CM with azimuthal and radial orientation of the base of observation points, with arbitrary placement of base in transverse to power line plane (with component and modul primary transformers) (Figure 4) are proposed. Also cyclic method with moving of observation points on a circular trajectory is proposed.



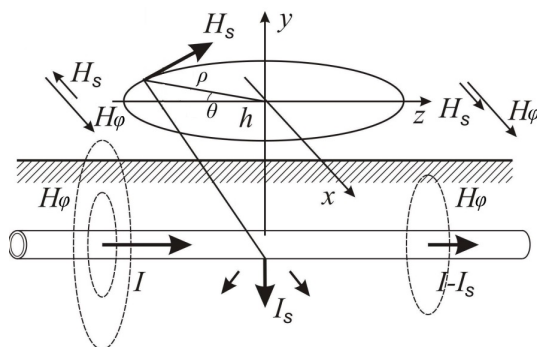
**Figure 4. Method of non-contact CM:**

1, 2 – radial; 4 – azimuthal; 3, 5 – invariant; 2 – difference

New methods and devices for non-contact CM are proposed. For express UP inspection in order to prevent damages of pipelines apparatus BIT-KVP [4; 6; 8] is developed. This device provides pipeline and power lines placement, orientation and depth of occurrence determination and CM with relief error correction without access to pipeline and ground. It is also additionally equipped with voltmeter for traditional contact CM and electronic memory. Results of measurements are translated to personal computer for automatic processing and documentation via interface using special program.

Conducted in PMI of the NASU with Lvivtransgaz theoretical and experimental researches of EM characteristics on UP routes and comparative methods and tools for diagnostic inspection show that for express testing of CP UP non-contact differential measurements of variable component of rectified pulsating current of SCP are most suitable. This current contains information both about the electromechanical (active) protection current distribution and about insulation state (passive protection) on different UP regions [10–12]. Characteristics of natural, man-made and technological field source on routes as interfering and SCP currents as informative are analyzed.

Influence of current leakage (from UP to the ground) on magnetic field behavior (Figure 5) and on results of non-contact measurements of depth  $h$  of UP occurrence and current using gradient  $J_g$  and parallax  $J_p$  methods are analyzed. It is showed theoretically and was confirmed experimentally, that local current leakage creates anomalies in distribution of measurements  $h(l)$  and  $J(l)$  along UP. It makes available to use this measurements for differentiation of local insulation damages, which are distant from each other at a distance not less than depth of UP occurrence [6; 8].



**Figure 5. Magnetic fields components:  $H_\phi$  of transit current  $I$  and  $H_s$  of current  $I_s$ , that leaks through damage in UP insulation**

### 5. Technology of non-contact UP inspection

Methods for measurement of SCP current distribution between different threads and shoulders of pipelines (Figure 6, 7) and determination of UP CP current density using non-contact CM and harmonic coefficient for arbitrary point in SCP action area are proposed. Methods for detection of transient resistance “pipe-to-ground” on different UP regions and its components (ground, insulation and polarization resistances) are developed [12]. New method for detection of metal surface polarization potential in conductive medium with the exception of ohmic component by measurements of constant and variable voltages is proposed.

Concept is proposed and new information technology for CP UP state inspection based on non-contact CM for express detection of most probable corrosion places with further use of improved compact electrometry in

places of abnormally large SCP current consumption for estimation of insulation and electrochemical protection state to prevent UP damages is developed.

Created tools make express **integral** (Figure 6) and **differential** (Figure 7, 8) inspections and control [4; 6; 10; 11] of CP parameters possible. Also **local** [4; 6; 12] diagnostics inspections of underground metallic constructions corrosion state are available. Results of measurements on route automatically are stored in memory of device and translated to personal computer for automatic processing and documentation via interface using special program [4; 6; 13].

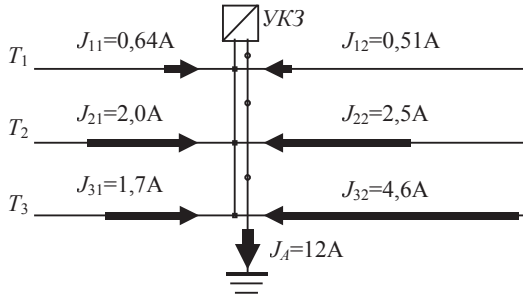


Figure 6. SCP current distribution by shoulders of three UP

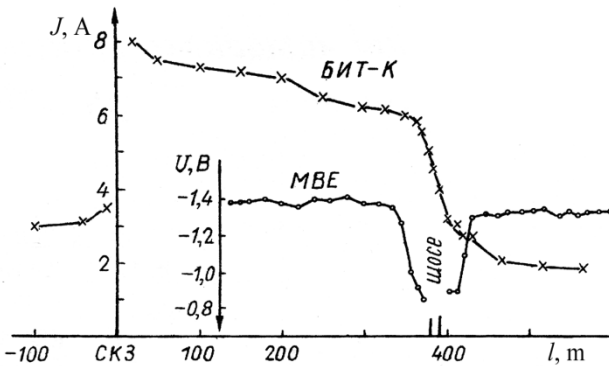
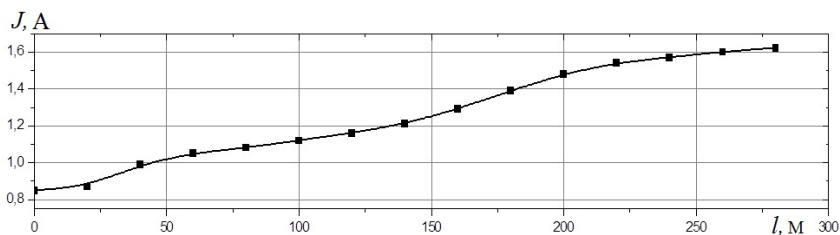


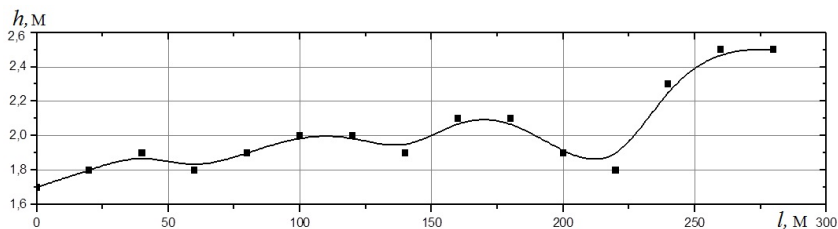
Figure 7. Non-contact CM SCP and contact measurement of UP potential

Field tests and operation confirm, that non-contact CM method and EM IMS created using it can obtain new information about UP corrosion state, in particular: SCP current distribution, integral (Figure 6) and differential (Figure 7) quantitative estimations of insulation state on different regions without opening the pipeline. Functional possibilities of non-contact CM method, created devices and developed technology are confirmed by comparative testing and examples of use in express inspection of arterial oil and gas pipelines [4; 6; 10–13].

Created devices of type ORT or non-compact CM are put into operation; they are used in Ukraine, Russia, Kazakhstan for diagnostics inspections of arterial pipelines, pipeline networks in human settlements and on territory of enterprises, other conductive communications.



**Figure 8a.** Current  $J(l)$  distribution along arterial pipeline using data obtained by non-compact device BMC-K



**Figure 8b.** Distribution of depth of occurrence measurements along arterial pipeline using data obtained by BMC-K

**5.1. Detection of unsatisfactory UP insulation using current measurements.** Using non-contact methods we can measure value of current  $J_n$  in UP points  $n = 0, 1, 2, \dots$ , distance between which are  $\Delta l_n$ . We can calculate current losses on each interval  $\Delta l_n$  of the pipeline



$$\Delta J_n = J_n - J_{n-1}, \text{ A} \quad (3)$$

Relative current losses on unit of pipeline length (relative linear current leakage density) we can obtain using formulae

$$\delta J_n = \frac{\Delta J_n}{J_{nc} \cdot \Delta l_n} \cdot 100, \text{ \%}/\text{M}, \quad (4)$$

where  $J_{nc} = (J_n + J_{n-1})/2$  is mean current in pipeline on nth interval.

Relative linear current losses density  $\delta J_n$  equals attenuation of signal along UP. It is proportional to conductivity of insulation and is UP insulation damage indicator: the largest values  $\delta J_n$  indicate places with the largest conductivity “pipe-to-ground”, i.e, the least resistance of insulation.

If relative current losses in pipeline on certain interval is bigger  $\delta J_n > \delta J_{kp}$  then critical value, which is detected by attenuation of EM wave in ground and obtained by formulae [4; 6]

$$\delta J_{kp} = 0,2\sqrt{f / \rho_g}, \text{ \%}/\text{m}, \quad (5)$$

where  $f$  is current frequency (Hz),  $\rho_g$  is ground resistivity (Ohm•m), then it can be affirmed [4; 6], that insulation on this nth interval of given UP region is unsatisfactory. Distribution of relative current losses  $\delta J$ , calculated using formulae (4), is showed on Figure 9. Overrun of its critical value  $\delta J_{kp}$  indicate places of unsatisfactory insulation.

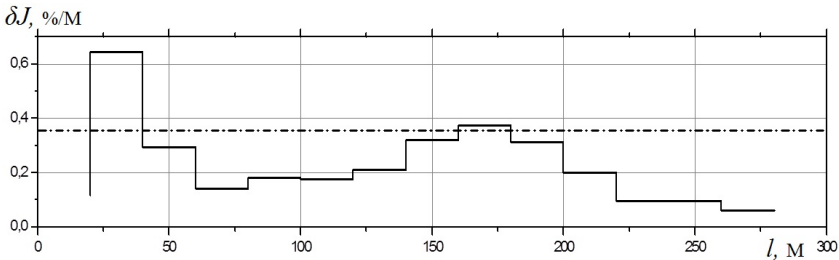


Figure 9. Distribution of relative current losses  $\delta J$  along arterial pipeline; critical relative loss  $\delta J_{kp} = 0,36 \text{ \%}/\text{m}$

5.2. Transient resistance “pipe-to-ground” on unit of pipeline surface for each interval of  $n$  UP region [4; 6; 8; 10] is calculated by formulae

$$R_{pg}(n) = \frac{R_b \pi D}{|\delta J_n|}, \text{ } \Omega \text{ m}^2, \quad (6)$$

where  $R_b = \frac{V_{pg}}{J_p}$  is input resistance of pipeline;  $V_{pg}$  is voltage pipe-to-ground and  $J_p$  is current in pipeline measured on the beginning of the section (from the current source). This values of transient resistance make possible to compare protection cover state (considering ground) on different intervals (sections) of UP.

**5.3. Detection of cathodic protection current density distribution.**

Using measured current losses (3) we can obtain current leakage density on unit of UP surface for given section by formulae

$$j_n = \Delta J_n / s_n, \tag{7}$$

where  $s$  is area of controlled UP section (for one-threaded pipeline  $s = \pi D \cdot \Delta l$ ;  $\Delta l$  is section length). During inspection of ramifications of pipelines, or their technological connections, currents of all pipeline branches and connected to them power lines are measured and total area of underground metallic surface on controlled section is calculated.

Orientation and value of constant component of rectified SCP current during inductive non-contact measurements can be obtain by comparing harmonics of current magnetic field using proposed methods [4; 6; 10]. Besides, current constant component density, which leaks to the pipeline from ground on given sections, can be calculated by current variable component density (7) with use of harmonic coefficient

$$i_n = j_n / k_n. \tag{8}$$

Harmonic coefficient can be determined by ratio of variable  $V_g$  and constant  $U_g$  voltages in ground across UP route  $k_n = V_{gn} / U_{gn}$ .

For cathodic polarization current density in places of insulation damage with area  $s_{dn}$  on  $n$ th UP section, considering (3), (7) and (8), we have:

$$i_{pn} = \Delta J_n / s_{dn} k_n. \tag{9}$$

**5.4. Determination of UP transient resistance components**

Transient resistance (TR) is important generalized characteristic of UP protection covers. Values of  $R_{pg}$  components is needed during planning and control of CP and diagnostics of its technical state. It is known, that pipelines with same insulation, which is embedded in soil with different resistivity have different TR [4; 12]. For example, TR in solonchak is three times smaller then in mudrock (for equally insulated pipeline sections). Soil, that surrounds pipeline (environment), is important part of protection

covers. Thus concept TR pipeline-far ground  $R_{pg}$  and TR of insulation  $Ri$ — and other components must be distinguished. It must be taken into account during measurements, TR and its components determination and estimation of UP protection cover estimation.

Known methods of UP TR and its components measurements are labor consuming and sometimes inadequate to real conditions of metallic constructions operation [1; 2; 8]. Disadvantages of traditional contact methods of integral TR estimation are absence of information about actual condition of protection covers on different sections of control region and big errors associated with difficulties of precision determination of control region length, selective measurements of potential “pipe-to-ground” difference on measuring points and inadequate approach about uniform distribution of SCP current along all action area. This method weakly respond to single local decrease or increase of current between pipeline and environment, which can lead to wrong results and conclusions.

This disadvantages of contact methods of UP diagnostic inspection . Examples of practical UP insulation control with determination of TR and its components distribution along UP using measurements of BMC and VPP during arterial gas pipelines inspection given in the works [4; 6; 10–13] and publications cited by them. In this section we describe methods of TR determination methods based on UP non-contact CM.

**Total UP TR** (TR “pipe-to-far ground”) can be obtained by formulae (6)

**Soil resistivity** on UP route  $\rho_g$ , as main indicator of corrosion aggressiveness of environment, traditionally is measured by method of four electrodes on the side of the route (to exclude pipeline influence) [1–3]. But during pipeline trenching soil characteristics will be violated and can significantly differ from characteristics of the soil on the side of the route.

Unlike this method, non-contact CM can determine resistance, that directly surrounds the pipeline, located on given section at depth  $h$  [4]. We use measurements of current leakage  $\Delta J_n$  (3) and measurements of voltage  $V_{xn}$  between two electrodes on ground surface at distance  $x$  and formulae

$$\rho_{gn} = 2\pi l_n V_{xn} / \Delta J_n \ln(1 + x^2 / h), \text{ Ohm} \cdot \text{m} \quad (10)$$

Advantages of this method, except control of pipeline surrounding soil, are possibility of  $\rho_g$  determination using regular non-contact measurements

of current  $J_n$  and UP depth of occurrence  $h_n$  and contact measurement of electric voltage  $V_{xn} = V_{gg}$ , which are performed directly on the route during UP inspection. So, using this measurements during their processing (without installation of four electrodes and additional measurements)  $\rho_g$  distribution along UP.

**Insulation resistance** (insulated layer with possible pores and defects) on UP section in alternating low-frequency current can be considering as active (its reactive component can be neglected). It makes sense when with increasing of current frequency polarization resistance “metal-to-environment” no longer manifests itself as well as capacitive (reactive) component of insulation (surrounded by soil) conductivity comparing to ohmic (active) component of conductivity [6]. Then resistance of this real (saturated with moisture, with pores and defects) UP insulated layer in operation can be obtain by formulae

$$R_{in} = V_{in} / j_n, \Omega \cdot m^2, \quad (11)$$

where current leakage density  $j_n$  on given section can be determined using formula (7). Alternating voltage on insulated layer  $V_{in}$  can be calculated by measurements of alternating voltages  $V_{Tg}$  between pipeline metal and reference electrode, located on ground above UP, and  $V_{gg}$  on ground between two electrodes, spaced apart at distance  $x$ . Using solution of electrodynamic boundary problem in [6; 8] was showed that if distance  $x$  choose considering depth of occurrence and UP diameter, than measured voltage on ground above UP  $V_{gg} = V_x$  equals voltage drop  $V_G$  in ground above pipeline  $V_{gg} = V_G$ . Then for determination of insulation resistance we obtain voltage on insulated layer:

$$V_{in} = V_{Tg} - V_{gg}. \quad (12)$$

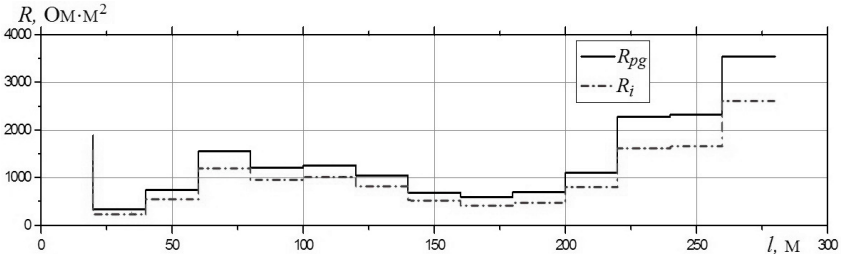
Example of TR “pipe-to-ground”  $R_{pg}$  and UP insulation TR  $R_i$  due to non-contact CM on different section of UP is showed on Figure 10.

**“Metal-to-ground” resistance in direct current** on UP section, similar to (11) is determined by ratio

$$R_{Tgin} = U_{in} / i_n, \text{OM} \cdot m^2, \text{Ohm} \cdot m^2 \quad (13)$$

where, unlike (11), polarization potential  $U_{pol}$  must be considered

$$U_{in} = U_{Tg} - U_{gg} - U_{polb} \quad (14)$$



**Figure 10. UP TR “pipe-to-ground”  $R_{pg}$  and UP insulation TR  $R_i$  distribution along arterial pipeline**

and direct current density in can be determined using results of non-contact CM and harmonic coefficient by formuals (7), (8).

The obtained value (13) of “metal-to-gound” TR in direct current contains both insulation resistance  $R_{in}$  and polarization resistance  $R_{pol}$  on given section. It can be used to calculate UP cathodic polarization.

**Polarization resistance** of unit of surface for given UP section by obtained TR “metal-to-ground” and insulation resistance components can be determined as:

$$R_{pol} = R_{Tgin} - R_{in}. \quad (15)$$

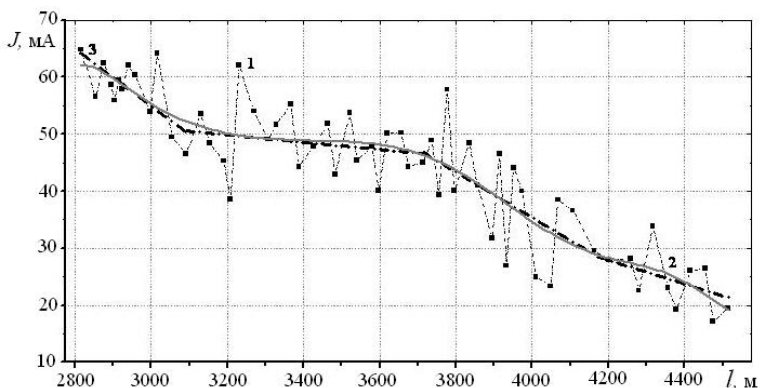
Taking into account similar to (9) area of insulation damages we obtain polarization resistance in places, where UP metal have contact with soil.

The obtained values of UP polarization resistance can be used for estimation of residual corrosion speed [1; 4; 10–12] in places of insulation damages in real conditions of underground metallic constructions occurrence.

### 6. Non-contact CM processing under influence of interference

Current in UP monotonically decreases by exponential law with distance from current source. Inhomogeneity along the route lead to changes of attenuation current coefficient. Places of UP insulation damages can be determined by these changes as well TR can be determined by values of current losses. But monotony of UP current changes with distance from source in its action area converges [11].

However in practice of testing measurement errors can lead to violation of monotony of current changes along the route. Then direct application of



**Figure 11. Distribution along the section of the main pipeline current measurements  $J(l)$ :**

1 – measurement results; 2 – approximation of measurements by a polynomial; 3 – approximation by linear dependences

formulas (3), (4) and (7) for determination of current losses can lead to the wrong results. Violation of monotony of current measurements results is true sign of the presence of significant errors, which must be excluded or corrected during data processing (Figure 11).

Reasons of non-contact CM error can be high level of interference (comparing to useful signal), inhomogeneity of the route, violation of normal equipment operation and human factor.

For correcting of array of measurements firstly single cases (measurement error) are excluded. In case of little changes of the measurement results for their correcting smoothing can be used [11]. During measurements in places of powerful interference, violations of monotony of current measurements are much larger and require more detailed analysis. Array of measurements can be divided on sections, inside which mean values of measurements lied on line; it is piecewise linear approximation. Approximation using method of least square can be use too (Figure 11).

Only when changes of current measurements (along the UP route in source action area), algorithms, described above, can be used properly.

### 7. Conclusions

Important steel UPs are protected from corrosion using insulation and cathodic polarization. For control of their state traditionally contact electrometric methods are used. Disadvantages of known UP control methods are labor consuming and insufficient informativeness.

Efficiency of the UP inspections is significantly increased by use of non-contact methods, in particular, non-contact current measurement (NCM). For their broad use appropriate measured data processing tools are required.

In PMI of the NASU triune mathematical model of UP electromagnetic field are proposed. This model is based on solution of electrodynamic boundary value problem, theory of electric circuits with distributed parameters and calculations of spreading current electric and magnetic fields in conductive medium. Method of non-contact current measurement is developed. New BMC-type devices for control of corrosion protection state of the UP in operation are created.

**New technology** of integral, differential and local inspections and estimation of UP corrosion protection parameters are developed. New methods of efficient detection of places with unsatisfactory UP insulation, determination of cathodic protection current density along the route and transient resistance “pipe-to-ground” and its components (insulation, soil and polarization resistance) are proposed.

Efficiency of created method and equipment for non-contact inspection are tested by comparing with results of traditional contact electrometry, performed during diagnostic surveys of UP in operation. Developed method and NCM tools significantly increase efficiency of inspection, informativeness and reliability of results of UP corrosion protection control.

### References:

1. Strizhevskii, I. V., & Zinevich, A. M. (1981). Zashchita metallicheskih sooruzheniy ot podzemnoi korrozii. Spravochnik. Moskva: Nedra, 293 p. (in Russian)
2. Baeckmann, V., & Schvenk, V. (1984). Katodnaya zashchita ot korrozii / Per. s nem. Pod red. I. V. Strizhevskogo. Moskva: Metallurgiya, 495 p. . (in Russian)
3. Uhlig, H. H., & Revie, R. W. (1989). Corrosion and corrosion control. New York: Wiley Publ, 456 p.
4. Dzhala, R. M. (2009). Bases of inspection and control of corrosion state of underground pipelines. Fracture mechanics and strength of materials: Reference manual / Ed.-in-chief V.V. Panasyuk. Vol. 11. Strength and durability of oil and gas pipelines and storage tanks / Ed. H.M. Nykyforchyn. Lviv: Spolom, pp. 143–184. (in Ukrainian)

5. Cosham, A., & Hopkins, P. (2004). "The assessment of corrosion in pipelines – guidance in the pipeline," Pipeline Pigging and Integrity Management Conference. 17-18th May 2004, Amsterdam, The Netherlands, pp. 1–31.
6. Dzhala, R. M. (ed.) (2018). Technical diagnostics of materials and structures: Reference manual / Ed.-in-chief Z. T. Nazarchuk. Vol. 4: Electrophysical methods for nondestructive testing of defects in structural elements / Dzhala R. M. (ed.), Dzhala V. R., Ivasiv I. B., Rybachuk V. G., Uchanin V. M. Lviv: Prostir-M., 356 p. (in Ukrainian)
7. Barnes, P. R. (1991). The magnetically inferred current attenuation method for pipeline coating evaluation // 2-nd International conference "Pipeline inspection". Moscow: MSIA "Spectrum", pp. 538–545.
8. Dzhala R. M. (2001). Electromagnetic survey and control of corrosion of pipelines // Mechanics of fracture and strength of materials: References. manual / Under edit V. V. Panasyuk. T.5: Non-destructive testing and technical diagnostics / Ed. Z. T. Nazarchuk. Lviv: G. V. Karpenko Institute of Physics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Part. 5, pp. 263–330. (in Ukrainian)
9. L. Dikmarova, R. Dzhala, V. Nichoga, P. Dub (2001). External Electromagnetic Field of Underground Pipeline in Problems of Corrosion Protection // Proc. 5th International Conference on Applied Electromagnetics. Nis (Yugoslavia), pp. 41–44.
10. R. M. Dzhala, B. Ya. Verbenets', M. I. Mel'nyk, A. B. Mytsyk, R.S. Savula, O. M. Semenyuk (2017). New methods for the corrosion monitoring of underground pipelines according to the measurement of currents and potentials. Materials Science. Vol. 52, № 5. March 2017, pp. 732–741.
11. R. Dzhala, B. Verbenets', M. Mel'nyk, R. Savula, O. Semenyuk (2014). Control of corrosion protection of main pipelines with contactless measurement currents in the disturbances. PCMM. Special Issue № 10: Problems of Corrosion Protection of Materials. Vol. 2, pp. 539–544. (in Ukrainian)
12. R. Dzhala, V. Dzhala, R. Savula, O. Senyuk, B. Verbenets' (2019). Determination of components of transient resistance of underground pipeline. Elsevier Procedia Structural Integrity, Vol. 16, pp. 218–222.
13. R. Dzhala, V. Dzhala, B. Horon, O. Senyuk, B. Verbenets (2019). Information Technology of Surveys and Diagnostics of Underground Pipelines XIth International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT). Lviv: Ivan Franko National University, IEEE Ukraine section. September 16-18, 2019. IEEE Electronic Publication eCF Paper Id: 206299. Proceedings, pp. 214–217.



**TECHNOLOGICAL AND APPARATUS IMPROVEMENT  
OF THE PRODUCTION PROCESSES OF BLENDED FRUIT  
AND BERRY FUNCTIONAL PRODUCTS**

**Andrii Zahorulko<sup>1</sup>**  
**Oleksii Zagorulko<sup>2</sup>**

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-54>

**Abstract.** The main task of the food industry is the full provision of consumer cooperatives with quality food, one of the main sources for the production of which is fruit and berry raw materials. The search for innovative measures to intensify the heat-mass exchange production processes of quality products is needed to solve this problem.

The goal of this work is to justify technological and apparatus improvement of the production processes of functional products on the basis of blended fruit and berry concentrated and dried products. The realization of this goal will allow expanding the range of foodstuff with balanced content of biologically-active substances and other physiologically-functional ingredients.

For the selection of the optimal blending recipe of fruit and berry raw materials into functional products with predicted structural and mechanical properties, such differential function as particle radius distribution, taking into account the average radius, proposed to use. This method allows to determine the impact of the mass fraction of each component on the change of structural and mechanical characteristics of the proposed multicomponent fruit and vegetable purees and pastes.

The technological production process of blended functional fruit and berry concentrated and dried products has been developed, namely apple-based – 50%; dogwood-based – 40%; hawthorn-based – 10%. This technology is different using gentle temperature modes during pre-

---

<sup>1</sup> PhD, Associate Professor at the Department of Processes, Devices and Automation of Food Production, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine

<sup>2</sup> PhD, Associate Professor at the Department of Processes, Devices and Automation of Food Production, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine

and primary heat treatment, which have been done on the developed and improved equipment (total - 4 units), with the use of radiating flexible film resistive electric heater. Steam blanching and keeping in NaCl solution processes have been done in a multifunctional all-purpose apparatus. The puree is heated to 30...50 °C by scraper heat exchanger. Concentration processes to dry solids content of 28...30% at a temperature of 50...60 °C for 0.6...0.85 min and further drying at a temperature of 45...60 °C to a moisture of 6...8% DS are implemented in a rotary film apparatus and rolled IR dryer, accordingly.

Changes in color formation have been studied at all stages of production from puree to dried product, which confirmed the quality of semi-finished products because color is one of the main factors determining the physicochemical changes of raw materials and may influence consumer choice. The brightness and purity of the experimental samples have been compared, and it has been found that the loss of brightness has a small percentage, within 3...8%, and the purity of color has been reduced to half, which has been explained by mass losses of fruit and berry raw materials during heat-mass exchange treatment. In general, an attractive visual color of the products is provided.

The line for production of blended functional fruit and berry concentrated and dried product using the developed equipment was chosen. The line can be located in places of growth of fruit and berry raw materials, which will significantly reduce the costs of transportation, storage of raw materials and ensure its resource efficiency.

### **1. Introduction**

The main task of food industry is the full provision of consumer cooperatives with quality food, one of the main sources for the production of which is fruit and berry raw materials. In addition, there is the increased demand for high quality natural products. The search for innovative measures to intensify the heat-mass exchange production processes of quality products is needed to solve this problem [1].

Most of the existing technological and apparatus solutions are focused on large volumes of raw material processing and are located in giant industries, creating the need for storage and transportation of processed raw materials. At the same time, most of the heat-mass exchange equipment is obsolete

and has lost its repair ability. For the operation of heating equipment, steam generators are usually still used, which makes it difficult to stabilize the temperature effects on raw materials. This artificially increases the metal consumption of the entire line with the complexity of operation [2, p. 78].

Projecting of mobile lines for the processing of fruit and berry raw materials directly in the places of its growth will reduce transport costs, simplify the operating conditions and increase the competitiveness of such enterprises. Implementation of such mini-lines requires the development and improvement of heat-mass exchange equipment based on resource-efficient heaters and the creation of appropriate conditions for the production of high-quality multifunctional blended fruit and berry products [3, p. 50].

This approach solves the issues and causes the need to modernize the existing technological equipment to create conditions for the development of small farmers' businesses [4, p. 16].

The goal of this work is to justify technological and apparatus improvement of the production processes of functional products on the basis of blended fruit and berry concentrated and dried products for their further use as a separate link of healthy nutrition and as natural fillers in various food and treatment and preventive care products. The realization of this goal will allow to expand the range of foodstuff with balanced content of biologically-active substances (BAS) and other physiologically-functional ingredients (PFI) [5, p. 333].

To achieve this goal and its practical implementation, the following tasks were solved:

- to propose methods to create a recipe of blended fruit and berry semi-finished products to obtain on their basis various functional products with predicted structurally-mechanical properties;
- to develop the basic diagram of production of blended fruit and berry concentrated and dried products;
- to present the constructions of improved heat-mass exchange apparatus for the realization of the production of blended functional products;
- to confirm the effectiveness of the introduction of production mode parameters using the proposed equipment by determining the color change of raw materials;
- to propose the technical and apparatus scheme of the line for production of blended fruit and berry concentrated and dried products.

## 2. Justification of recipe of blended functional fruit and berry products

The prospect of using natural raw materials is due to the high content of BAS, PFI and other useful substances for humanity. However, it should be borne in mind that each fruit and berry raw material has certain properties that must be taken into account when consumed and sometimes even monitor its consumption. In the context of rational natural nutrition, it is necessary to create functional concentrated and dried products with optimal recipe ratio (BAS and PFI). Determining the urgency of the introduction of blending methods of fruit and berry raw materials in multicomponent products with predicted structurally-mechanical properties [6, p. 268].

To solve the problem of proposing the method of blending of fruit and berry raw materials into functional products with predicted structural and mechanical properties, we used such differential function as particle radius distribution (DFD), taking into account the average radius ( $r_{\text{avg}}$ ). The presences of its own DFD in each component of the fruit and berry raw material with the relevant  $r_{\text{max}}$  allows study and compare the obtained dispersion and resistance by determining the surface interaction of the selected recipe components with each other. An accurate determination of the interaction of fruit and berry components on the resistance of the selected composition and a clear understanding of changes in the obtained structure of the food mass are provided [7, p. 2].

During the research of the proposed method, fruit and berry raw materials have been used, followed by blending. The main raw material is apple, with the addition of other components that can change the organoleptic, treatment and preventive care properties with natural colorants. In the Table 1 the recipe ratio of the blended composition is given.

The description of the obtained isotherms constructed by the Van Barmelen tensometric method has been carried out by the equation:

$$u = u_0 \exp\left(-\frac{a_{293} \ln(r) + b_{293}}{r}\right) \quad (1)$$

where  $u$  is the current moisture of the experimental sample, per unit;

$u_0$  is hygroscopic moisture by sorption, per unit;

$r$  is the current radius of the capillaries of the experimental sample, nm;

$\alpha_{293}$ ;  $b_{293}$  – steels, given based on the type of the experimental sorption-desorption isotherms and  $T = 293\text{K}$ .

Table 1

**Blended ratio of fruit and berry compositions**

Component composition	a	b	c
Apple	60	70	50
Dogwood	30	20	40
Hawthorn	10	10	10
Control sample – apple raw material (100%)			

It should be noted that the proposed method is simplified, since steels  $\alpha$  and  $b$ , equation 1, are included in the analytic expression that describes the DFD.

$$f(r) = \frac{b_{293} - a_{293} + a_{293} \ln(r)}{r^2} \exp\left(-\frac{a_{293} \ln(r) + b_{293}}{r}\right) \quad (2)$$

It makes it easy to find equilibrium values of the sorption-desorption in a wide range of hygroscopic moisture content, increasing the accuracy of the obtained values of  $a$ ,  $b$ .

Determination of the average radius of the porous structure of the product  $\bar{r}$  in terms of the recipe ratio of the blended composition has been carried out by the equation:

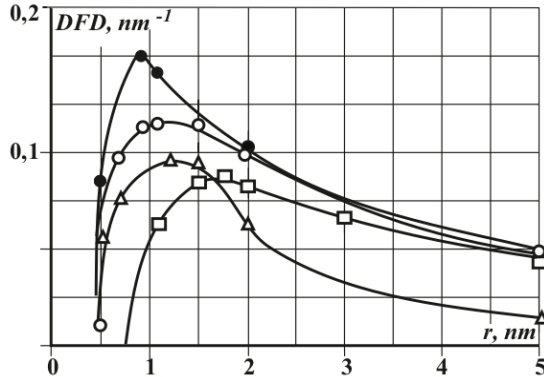
$$\bar{r} = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} r f(r) dr \quad (3)$$

where  $r_{\min}$  is the minimum radius of the micro capillaries of the blended mass;

$r_{\max}$  is the maximum radius of the micro capillaries of the blended mass.

As a result of studies of the obtained curved lines of the distribution of particles by radius (DFD) for the compositions listed in table 1, are shown in Figure 1.

The average radius of the micro capillaries is determined by analytical expression (2) taking into account  $f(r)$  that is for the compositions:  $a - \bar{r} = 2.38 \text{ nm}$ ,  $b - \bar{r} = 2.06 \text{ nm}$ ,  $c - \bar{r} = 1.80 \text{ nm}$ . There is a tendency to reduce the dispersion in the transition from the content of the dogwood 20% (sample b) to the content of 30% (sample a), and growth with increasing the content of dogwood to 40% in (sample c). At the same



**Figure 1. Differential function of distribution of particles by radius in blended ratio of fruit and berry compositions:**  
 (a) 60% apple, 30% dogwood, 10% hawthorn; (b) 70% apple, 20% dogwood, 10% hawthorn; (c) 50% apple, 40% dogwood, 10% hawthorn; control (100% apple raw material)

significant strengthening of the structure in the sample c (40% of the dogwood), compared with 20 and 30% of its introduction and control is provided. This result confirms the up-to-date using of the proposed method of blending of fruit and berry raw materials into functional products with predicted structurally-mechanical properties. This necessitates further feasibility studies for the technological and apparatus production processes of blended fruit and berry functional concentrated and dried products. Since natural raw materials have a limited expiration date after harvesting, the maximum preservation of their initial properties at all stages of production is required.

### 3. Technological production process of blended functional fruit and berry concentrated and dried products

Taking into account the limited period of processing of vegetable raw materials requires a reasoned technological and apparatus improvement of the production processes of blended functional fruit and berry concentrated and dried products, including the basic technological operations necessary to ensure their high quality production.

The basic technological production process of blended functional fruit and berry concentrated and dried products is shown in Figure 2.

Blended ratio of fruit and berry compositions has been previously proposed in the Table 1. The harvested ripe fruit and berry raw material goes to the washing machine, after which it is inspected and cut if necessary (apple).

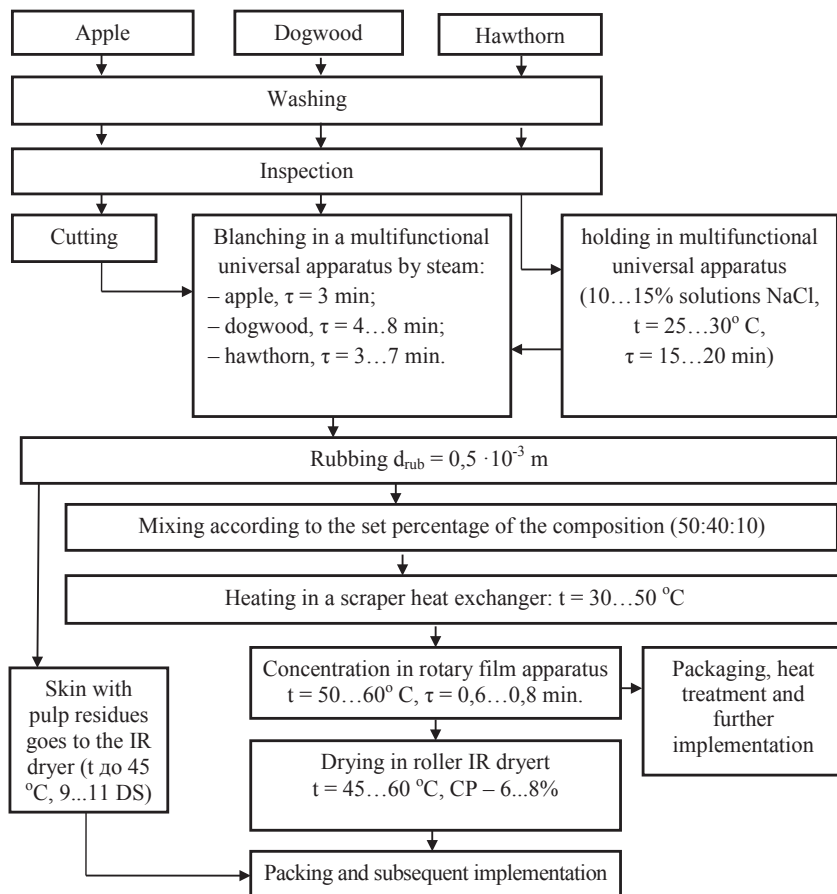


Figure 2. Basic diagram of the production of blended functional fruit and berry concentrated and dried products

Then it comes to blanching in a multifunctional universal machine (or apparatus) with steam (apple,  $\tau = 3$  min; hawthorn,  $\tau = 4...8$  min; dogwood,  $\tau = 3...7$  min). The dogwood is additionally kept in a universal multifunctional apparatus (10...15% NaCl solution,  $t = 25...30$  °C,  $\tau = 15...20$  min). Then the fruit and berry raw material is rubbed till a homogeneous mass ( $d_{\text{rub}} = 0.5 \cdot 10^{-3}$  m) with separation of skins and stones. Obtained after rubbing skin with pulp residues immediately goes to the IR dryer, where it is dried at a temperature of not more than 45 °C, to a final moisture content of 9...11% of dry solids (DS). After that, it is sent for sale in various industries, in particular for extraction.

Further, the obtained homogeneous puree is blended in a ratio of: apple – dogwood – hawthorn: 50:40:10 till a homogeneous consistency. The obtained blended puree food mass is sent to the scraper heat exchanger and get heated up to 30...50 °C, the heating of which is done by a radiating flexible film resistive electric heater (RFFREH) [8, p. 2]. Then the heated mass is sent into a rotary film apparatus (RFA) with an advanced heating system for concentration to dry solids of 28...30% at a temperature of 50...60 °C for 0.6...0.85 minutes. After that, the concentrated paste, if necessary, is sent to the packing machine with a further filling in the container, or is sent from the RFA for drying in a roller IR dryer, where it is dried at a temperature of 45...60 °C to a moisture of 6...8% of DS with further packing in light-proof sealed container of different volumes and sold in retail networks.

The majority of technological operations in the production of blended functional fruit and berry concentrated and dried products are done on advanced heat-mass exchange equipment under conditions of clear stabilization temperature [9, p. 152].

#### **4. Improvement of heat-mass exchange equipment for production of blended functional products**

The analysis of the scheme of production of blended functional fruit and berry concentrated and dried products allowed distinguishing the basic heat-exchange operations, which greatly influence the quality of the products obtained. These include: preheating of the raw material, steam blanching and keeping, concentrating and drying. In most cases, mechanization is characterized by the complexity of the stabilizing impact, as heating shells are used, which complicates the precise control: steam



pressure – temperature. It requires steam generators and piping networks, increases metal consumption, energy costs for technological processes, causes complexity of operation.

One way to solve these structural and technological disadvantages is to replace the heating system with intermediate coolants with a stabilized electrical. This will ensure an equal distribution of heat flow, eliminate heating shells and their piping networks, and simplify equipment operation.

The first heat treatment of vegetable raw materials in the proposed method is steam blanching and keeping in a multifunctional universal apparatus (MUA, Figure 3).

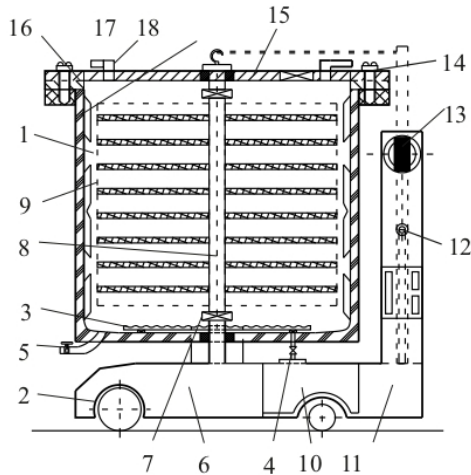
Which consists of the reservoir 1 mounted on the moving platform 2 for mobility. At the bottom of the reservoir 1 there is the perforated dispenser 3, which is connected to the technical pipe of the protecting steam line 4. Also the reservoir 1 is equipped with the tap for draining of process fluids 5.

The moving platform 2 of the MUA allowed accommodating the engine compartment 6 on the basis of a worm reduction gearbox. To which, by means of the coupling 7, the rotor shaft 8 with the replaceable section-modular perforated liner 9 is attached. Also, the platform 2 has the steam generator compartment 10, the vacuum compartment 11 with the vacuum pipeline 12 and the draw-out rail with rotary lifting mechanism 13.

To the reservoir 1, with the help of ringbolts 14 (4 pcs.), the cover of working technological reservoir 15 is attached having a rubber seal 16 in places of interaction with the reservoir. The on-off valves 17 is on the cover of working technological reservoir 1.

The next heat-exchange operation is preheating, which we propose to perform on the advanced scraper heater. The vertical scraper heater (Figure 4) has a vertical working chamber 1, the heating of which is done by RFFREH 2 with the insulating surface.

Chopped food mass goes through the pipe 3, where it is on the distributing disk 4 forming a uniform layer of raw material and placed on a rotary rotor 5. Then the raw material is picked up with the hinged blades 6 and is moved on the working surface 7. The duration of heat treatment is regulated with the thickness of the raw material layer and the speed of rotation of the blades driven with the motor 8. The discharge of raw material is done through the pipe 9. Then the heated mashed mass goes to the concentration into an advanced rotary film apparatus (Figure 5).



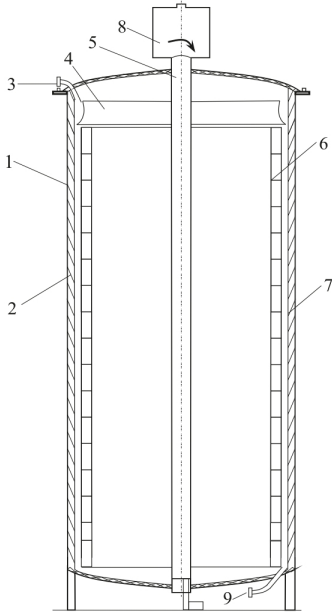
**Figure 3. Diagram of multifunctional universal apparatus:**

1 – a reservoir; 2 – a moving platform; 3 – a perforated dispenser; 4 – a pipe of the protecting steam line; 5 – a tap for draining of process fluids; 6 – an engine compartment; 7 – a coupling; 8 – a rotor shaft; 9 – a replaceable section-modular perforated liner; 10 – a steam generator compartment; 11 – a vacuum compartment; 12 – a vacuum pipeline; 13 – a draw-out rail with rotary lifting mechanism; 14 – ringbolts; 15 – a cover of working technological reservoir; 16 – rubber seal; 17 – on-off valves; 18 – a radiating flexible film resistive electric heater with insulating surface (RFFREH)

The rotary film apparatus has the working chamber 1, which is heated with the radiating flexible film resistive electric heater 2 with insulating surface. The pumping and discharging of the raw material is done through the pipes 3 and 4, and the discharge of the secondary steam with the pipe 5, after its prior accumulation in the separation space 6. The formation of the desired raw material layer is provided with the distribution ring 10 mounted at the top of the rotor 8, which rotates from the motor 7 and on which the hinged blades 9 are fixed.

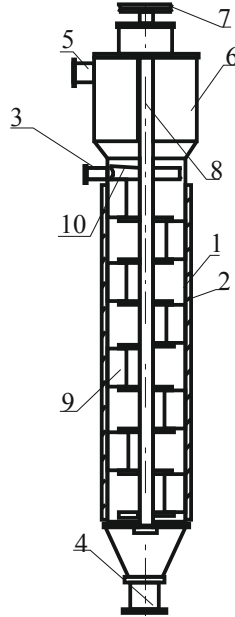
After concentration, the paste-like blended mixture is sent to the last heat-exchange treatment, namely drying in the IR field, which is implemented on the rolled IR dryer (Figure 6).

The drying process is done as follows: puree with a content of 26...30% of DS after concentration is pumped with the screw with a separating



**Figure 4. Advanced model of vertical scraper heater:**

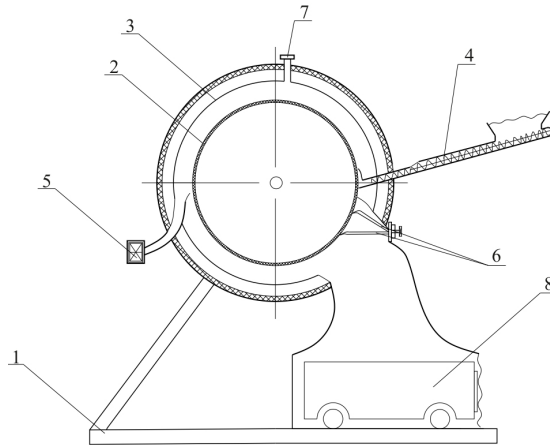
1 – a vertical working chamber; 2 – radiating flexible film resistive electric heater with insulating surface (RFFREH); 3 – a pipe for raw materials pumping; 4 – a distributing disk; 5 – a rotary rotor; 6 – hinged blades; 7 – a working surface; 8 – an electric motor with worm reduction gearbox; 9 – a pipe for raw materials discharge.



**Figure 5. Advanced rotary film apparatus:**

1 – a working chamber; 2 – a radiating flexible film resistive electric heater with insulating surface (RFFREH); 3, 4 – pipes for pumping and discharging of raw materials; 5 – a secondary steam discharge pipe; 6 – a separation space; 7 – an electric motor; 8 – a rotor; 9 – a hinged blade; 10 – a distribution ring

nozzle 4 on the working grooved drum 2 forming the necessary layer of raw material for drying. When rotating the drum counterclockwise, intensive drying of the raw material at the required temperature is done. The intensification of the process is provided by the creation of forced convection with the injection fan 6. And the discharge of secondary air is provided by the pipe 7. The dried raw material is cut with knives 6 and falls into the product bin.



**Figure 6. Rolled IR drier:**

1 – racks; 2 – a working grooved drum; 3 – a radiating flexible film resistive electric heater with insulating surface (RFFREH); 4 – an injection screw with a separating nozzle; 5 – an injection fan; 6 – cutting knives; 7 steam discharge pipe; 8 – a product bin

### **5. Research of change in the quality of blended functional fruit and berry products**

Having considered the basic technological diagram of production of blended functional fruit and berry products and the proposed advanced heat-exchange equipment it is necessary to prove the quality of the obtained products. Namely, the changes of color formation at all stages of production from puree to dried product were studied. Because color is one of the main factors characterizing the physical and chemical changes of natural raw materials and is fundamental for the consumer.

The first stage of the research was to determine the color characteristics of each of the components and blended compositions according to the recipe ratio (Table 1), the results of the studies are given in Table 2.

The dominant wavelength in the paste sample a is 613.3 nm and characterized with red-orange colour with the purity of colour tone – 73.6%. For samples b and c – 615.8 and 619.8 nm, accordingly. For sample b, the purity of colour tone (76.2%) corresponds to red-orange. The purity of tone of 79.1% in sample c characterizes the red-orange colour.

Table 2

**Colour characteristics of experimental samples of components  
and blended fruit and berry puree compositions**

Experimental samples	Dominant wavelength	Brightness	Colour purity	Visual characteristic of sample color
	$\lambda$ nm	T, %	P, %	
Apple	560.2	20.5	64.5	greenish-yellow
Dogwood	608.1	38.2	77.8	bright-red
Hawthorn	590	33.5	90.4	dark-orange
Sample a	613.3	35.9	73.6	red-orange
Sample b	615.8	33.5	76.2	red-orange
Sample c	619.8	38.6	79.1	red-orange

The second stage of the study determined the colour change of blended puree after concentration in accordance with the regimes specified in the basic diagram (Figure 2) in the proposed advanced rotary film apparatus (Table 3).

Table 3

**Color characteristics of experimental samples  
of blended fruit and berry paste compositions**

Samples of fruit and berry paste compositions	Dominant wavelength	Brightness	Colour purity	Visual characteristic of sample color
	$\lambda$ nm	T, %	P, %	
Sample a	609.2	35.3	76.5	light red-orange
Sample b	612.6	33.9	65.3	light red-orange
Sample c	615.3	36.3	79.1	red-orange

The dominant wavelength in the paste sample a is 609.2 nm and corresponds to a light red-orange colour with the purity of 76.5%. For pastes b and c, 612.6 and 615.3 nm, accordingly. For sample b, the purity of tone (65.3%) corresponds to light red-orange colour. The sample c is characterized by a red-orange colour as it has the purity of tone at the level of 79.1%.

The third stage of the study was to determine the colour change in dried blended functional products (Table 4).

**Colour characteristics of experimental samples of dried functional fruit and berry products**

Samples of dried products	Dominant wavelength	Brightness	Colour purity	Visual evaluation of sample color
	$\lambda$ nm	T, %	P, %	
Sample a	526.9	31.2	35.2	blue-red
Sample b	623.8	31.9	35.6	red-orange
Sample c	568.5	32.6	35.3	bluish-orange

The characteristic wavelength of dried functional fruit and berry products for sample a is 526.9 nm and corresponds to a blue-red colour with the purity of tone of 35.2%. Samples b and c have lengths of 623.8 and 568.5 nm, accordingly. For sample b, the purity of tone of 35.6% corresponds to red-orange colour. The sample c is characterized by a bluish-orange colour, as it has the purity of tone at the level of 35.3%.

Having analyzed the obtained colour changes (Table 2-4) and compared the brightness and purity of the tone of the samples, it is possible to conclude that the loss of brightness has a small percentage, within 3...8%. The purity of the colour is halved, which is explained by the drying of the mass of fruit and berry raw materials during heat-mass exchange treatment. Although, an attractive visual colour of the obtained products is provided for the consumer.

### **6. Technical and apparatus diagram of the production line**

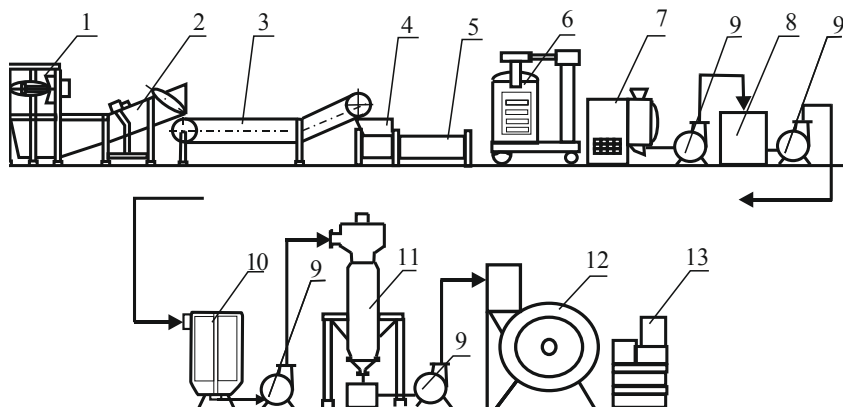
for blended functional fruit and berry concentrated and dried products

To detail the technological and apparatus production process of blended functional fruit and berry products, we present its technical and apparatus diagram of the line (Figure 7).

The proposed production line for blended functional fruit and berry concentrated and dried products may be located in areas of growth of fruit and berry raw materials. It is characterized by: mobility, simplicity, resource efficiency.

### **6. Conclusions**

The relevance of using of such differential function as particle radius distribution, taking into account the average radius to choose the optimal



**Figure 7. Technical and apparatus diagram of the production line for blended functional fruit and berry concentrated and dried products:**

- 1 – a container tilter; 2 – a conveyor machine for washing; 3 – an inspection roller conveyor; 4 – a machine for cutting fruit and berry raw materials; 5 – a container for accumulation of liners; 6 – a multifunctional universal apparatus; 7 – a wiping machine; 8 – a collector-measure; 9 – a gear pump; 10 – a scraper heat exchanger; 11 – a rotary film apparatus; 12 – a rolled IR dryer; 13 – a packing machine

recipe for blending fruit and berry raw materials into functional products with the predicted structurally-mechanical properties. The average radius of the micro capillaries have been determined taking into account  $f(r)$ , they are for the compositions: a –  $\bar{r} = 2.38$  nm, b –  $\bar{r} = 2.06$  nm, c –  $\bar{r} = 1.80$  nm, which indicates a significant strengthening of the structure of the sample c with a content of dogwood 40%.

The technological production process of blended functional fruit and berry concentrated and dried products has been developed, namely apple-based – 50%; dogwood-based – 40%; hawthorn-based – 10%. The developed technology is different by using of gentle temperature modes during the preliminary and basic heat treatment, which were done on the developed and improved equipment (total – 4 units) with the use of the radiating flexible film resistive electric heater (RFFREH). Steam blanching and keeping processes in NaCl solutions have been done in the multifunctional all-purpose apparatus. The purée is heated to 30...50 °C by scraper heat exchanger. Concentration processes to dry solids content of 28...30% at a temperature of 50...60 °C for

0.6...0.85 min and further drying at a temperature of 45...60 °C to a moisture of 6...8% DS are implemented in a rotary film apparatus and rolled IR dryer, accordingly. Studies of the color changes at all stages of production from puree to dried products confirm the preservation of the quality of semi-finished products. Since the change in brightness and purity of the experimental samples had a small percentage, within 3...8%, and the purity of color has been reduced to half, which has been explained by mass losses of fruit and berry raw materials during heat-mass exchange treatment.

The complete line has been chosen for production of blended functional fruit and berry concentrated and dried products using the developed equipment. The line can be located in places of growth of fruit and berry raw materials, which will significantly reduce the costs of transportation, storage of raw materials and ensure resource efficiency..

### References:

1. Ahrobiznes sohodni / Vyrobnystvo orhanichnoi silhospproduktsii ta syrovyny. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/u-pravovomu-poli/item/11002-vyrobnystvo-orhanichnoi-produktsii-pravyla-i-normy.html>
2. Alabina, N. M., Drozdova, V. I., Volodzko, G. V. i dr. (2006). Plodoovoshnhnye konservy profilakticheskogo naznacheniya. *Pishhevaya promyshlennost*, no. 11, pp. 78–79.
3. Shazzo, R. I., & Ovcharova, H. P. (2005). Produkty detskoho pitaniia iz rastitel'noho i miasnoho syr'ia infrakrasnoi sushki. *Khranenie i pererabotka sel'khoz-syr'ia*, no. 1, pp. 50–52.
4. Pilipenko, O. Ye. (2017). Rozvitok harchovoyi promislivosti Ukrayini. Nacionalnij universitet harchovih tehnologij. *Naukovi praci NUHT*, T. 23, no. 3, pp. 15–25.
5. Antipov, S. T., & Zhashkov, A. A. (2010). Sovremennyye tekhnologii pri poluchenii plodovo-yagodnykh poroshkov [Modern technologies in the production of fruit and berry powders], vol. 16, no. 2, pp. 332–336.
6. Lian Huang, Li Ba, Xiaoyi Zhang, Shunlong Gong. Re-understanding the antecedents of functional foods purchase: Mediating effect of purchase attitude and moderating effect of food neophobia. *Food Quality and Preference*, vol. 73, April 2019, pp. 266–275.
7. Cherevko A. I., Kiptela L. V., Zaharenko V. A., & Zagorulko A. N.; assignee: Kharkiv State University of Food Technology and Trade (10.10.2013). Method of determining the strength of the multicomponent structure of plant pastes. Patent UA 83943 U, MPK G01N 30/00, A23L 1/06. Appl. № u201302710. Filed 04.03.2013. Bull. № 19. 4.
8. Zagorulko, A. M., & Zagorulko, O. Ye.; assignee: Kharkiv State University of Food Technology and Trade. (24.06.2016). Hnuchkyi plivkovyi rezystyvnyi elektronahrivach vyprominiuiuchoho typu. Patent UA 108041 U, MPK G05D 23/19, B01D 1/22, H05B 3/36. Appl. № u201600827. Filed 02.02.2016. Bull. № 12, 4.
9. Vanshin, V., & Vanshina, E. (2012). Tekhnologiya pishchekontsentratnogo proizvodstva: uchebnoe posobie. Orenburg: OGU, 180 p.



**NUMERICAL STUDY OF DYNAMICS OF MOTION  
OF LIQUID AND HEAT TRANSFER IN A ROTOR-PULSATION  
APPARATUS OF CYLINDRICAL TYPE**

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ  
ЖИДКОСТИ И ТЕПЛОПЕРЕНОСА В РОТОРНО-  
ПУЛЬСАЦИОННОМ АППАРАТЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТИПА**

**Oleksandr Obodovych<sup>1</sup>**

**Vitalii Sydorenko<sup>2</sup>**

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-55>

**Abstract.** The paper discusses the dynamics of fluid motion and heat transfer in a rotor pulsating apparatus (RPA). General ideas about the principle of discrete-pulse energy input, which is implemented in rotor-pulsating apparatuses, are given. The problem was solved for a cylindrical RPA with one fixed stator and one rotating rotor. The stator and rotor were coaxial shells with holes. The calculation area included sections of the working space, consisting of a stator and a rotor, as well as gaps between them.

When solving the problem, a segment with an opening angle  $\Delta\theta$  was considered. It is included one hole and half of the wall adjacent to it, separating this hole from neighboring ones. The simulation of fluid motion and heat transfer was based on the finite difference method.

The simulation consisted of solving a system of equations of dynamics and energy for a viscous fluid in polar coordinates. An analytical calculation of the temperature change in the RPA in the scheme: tank – inlet pipe – RPA – outlet pipe – tank for viscous liquids are done.

From the heat balance equation, relations are obtained for determining the amount of heat released per unit time inside the gap.

For the selected RPA design and the viscosity of the processed medium obtained experimentally, the values of the temperature increase over time

<sup>1</sup> Doctor of Technical Science, Senior Research Officer, Head Research Officer, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

<sup>2</sup> Candidate of Technical Sciences, Senior Research Officer, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

were calculated. An expression is derived for a coefficient relating the change in temperature in the tank to the viscosity of the medium.

The fields of overpressure in the working area of the apparatus are presented, obtained by the method of numerical simulation of a fluid flow with a viscosity  $\mu = 1.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  at key points in time. In particular, at the moment of coincidence of the slots of the rotor and the stator, complete mutual overlap of the slots of the stator by the wall of the rotor.

The dynamics in time of the flow rate of fluid flowing through the working area in the radial direction is determined. The dependence of the processed medium on viscosity is presented. A comparison of the calculation results with the experimental result shows their satisfactory agreement. Based on the numerical solution of the energy equation, a study was conducted of the heating of the liquid in the working area of the RPA. The results of calculating the fields of excess temperature during the laminar flow of Newtonian fluids at different points in time allow us to conclude that the most intense heat release due to dissipation occurs when the slots of the stator and rotor overlap.

## 1. Вступление

Принцип дискретно-импульсного ввода и трансформации энергии (ДИВЭ) был впервые предложен в работе [1], как обобщающий метод направленного, локального и интенсивного использования концентрированной энергии в жидкостных дисперсных системах. Физические явления динамики основных элементов ДИВЭ в дальнейшем были теоретически исследованы в [2–4], а технологические и инженерные приложения этого принципа представлены в [5–7] и обобщены в [8; 9].

Идея ДИВЭ состоит в том, чтобы предварительно стационарно введенную и произвольным образом распределенную в рабочем объеме энергию аккумулировать (сконцентрировать) в локальных дискретных точках системы и в дальнейшем импульсно реализовать для достижения необходимых теплофизических эффектов. Цель ДИВЭ состоит в интенсификации теплообменных и гидродинамических процессов в технологических средах, а также создании методики их оптимизации и способов управления ими. Наиболее распространенными видами устройств, в которых реализуется метод ДИВЭ, являются роторно-пульсационные аппараты (РПА), которые обычно включают

в себя заключенные в корпусе коаксиально расположенные статор(-ы), и ротор(-ы) в форме оболочек с прорезанными в них прямоугольными отверстиями. Между статором и ротором имеется зазор.

В настоящее время для решения гидродинамических задач используют трёхмерную постановку задачи. Однако сходимость подобных трёхмерных задач очень медленная, а иногда и проблематичная, поскольку для ее решения необходима вычислительная техника, требующая больших ресурсов по быстродействию и т.д. Вследствие этого предлагается подход к решению задачи динамики жидкости и теплопереноса в РПА, основанный на приближенных двумерных гидродинамических моделях. Для сведения рассматриваемой трехмерной задачи к двумерной, цилиндрические отверстия в роторе и статоре условно заменяются прорезами прямоугольной формы, гидравлический диаметр которых соответствует диаметрам указанных отверстий.

## 2. Постановка задачи динамики жидкости в рабочем пространстве цилиндрического РПА

Решение задачи строится для случая неподвижного статора и вращающегося ротора (рис. 1). Поскольку основными рабочими элементами аппарата являются коаксиальные цилиндрические тела, систему уравнений динамики жидкости и теплопереноса целесообразно представить в полярной системе координат  $(r, \theta)$ , начало которой лежит на общей оси рабочих элементов.

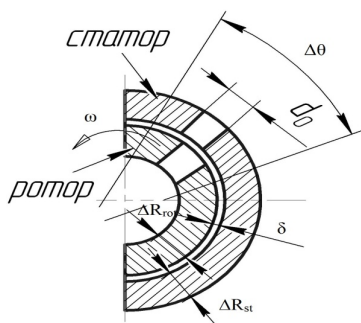


Рис. 1. Расчетная схема рабочего пространства цилиндрического роторно-пульсационного аппарата

Система уравнений динамики и энергии для вязкой жидкости в полярных координатах имеет вид:

$$\frac{\partial(r \cdot v_r)}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial t} = 0; \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v_r}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r^2)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(v_r v_\theta)}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu_{\text{эфф}} r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - \frac{2\mu_{\text{эфф}}}{r^2} \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_r \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \mu_{\text{эфф}} \left[ r \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{v_\theta}{r} \right) \right] \right\}; \quad (2)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_\theta v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta^2}{\partial \theta} + \frac{v_\theta v_r}{r} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[ \mu_{\text{эфф}} r \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_r \right) \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \mu_{\text{эфф}} \left[ r \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + r^3 \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{v_\theta}{r} \right) \right] \right\}; \quad (3)$$

$$C_p \rho \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r T)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(v_\theta T)}{\partial \theta} \right) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \lambda_{\text{эфф}} \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda_{\text{эфф}} r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \mu_{\text{эфф}} S^2, \quad (4)$$

где

$$S = \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{r^2} \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v_r \right)^2 \right] + \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial t} + r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{v}{r} \right) \right]^2 \right\}^{0.5}.$$

Уравнение (4) описывает перенос теплоты потоком с учетом диссипации механической энергии за счет трения.

В уравнениях (1) – (4)  $v_r$  – радиальная составляющая скорости;  $v$  – тангенциальная скорость;  $p$  – давление;  $T$  – температура.

Численное решение системы уравнений (1) – (4) выполняется при следующих граничных условиях. На входе в расчетную область ( $r = r_{\text{вн.рот}} - \Delta r$ ) давление и температура равны нулю; кроме того  $\frac{\Delta v_\theta}{\partial r} = 0$ . На выходе из расчетной области ( $r = r_{\text{нар.ст}} + \Delta r$ ) задается значение давления  $\Delta P > 0$ , а также  $v_\theta = 0$ ,  $\frac{\partial t}{\partial r} = 0$ . На поверхности статора  $v_r = 0$ ;  $v_\theta = 0$ ; на поверхности ротора  $v_r = 0$ ;  $v_\theta = \omega \cdot r$ . При  $\theta = 0$  и  $\theta = \Delta\theta$  задается условие периодичности всех функций ( $v_r, v_\theta, t$ ) по угловой координате  $\theta$ .

Решение системы уравнений (1) – (4) выполняется для  $0 < \theta < \Delta\theta$  и  $r_{\text{вн.рот}} - \Delta r < r < r_{\text{нар.ст}} + \Delta r$ , где  $\Delta\theta$  – геометрический период рабочих органов аппарата;  $\Delta r = 3$  мм – ширина предвключенного участка (рис. 1).

Расчетная область (рис. 1) включает в себя участки рабочего пространства, состоящие из статора и ротора, а также зазоры между ними. Рабочие элементы представляют собой цилиндрические тела с периодически повторяющимися отверстиями. При решении задачи рассматривается сегмент с углом раскрытия  $\Delta\theta$ , который включает одно отверстие и половину прилегающей к ней стенки, отделяющей данное отверстие от соседних.

При такой постановке задачи рассматривается дисперсионная среда имеющая физические свойства которые соответствуют эффективным свойствам крахмалосодержащей среды. При ламинарном течении ньютоновской жидкости эффективные коэффициенты переноса  $\mu_{\text{эфф}}$  и  $\lambda_{\text{эфф}}$  будут соответствовать ее коэффициентам молекулярной вязкости и молекулярной теплопроводности.

### 3. Результаты численного моделирования динамики жидкости и теплопереноса в роторно-пульсационном аппарате

Результаты численного моделирования гидродинамики и теплопереноса в роторном аппарате получены расчетным методом, предложенным в монографии [10]. В его основу положен метод конечных разностей решения системы уравнений (1) – (4).

### 4. Выделение теплоты в зазоре

Интенсивность выделения тепла в зазоре РПА определяется уравнением

$$Q_{\delta 0} = \mu \left( \frac{v_{\delta}}{\delta} \right)^2 = \mu \left( \frac{\omega R_{r2}}{\delta} \right)^2, \quad (5)$$

где  $v_{\delta}$  тангенциальная скорость в зазоре;  $\delta$  – толщина зазора;  $\omega$  – угловая скорость вращения ротора;  $R_{r2}$  – внешний радиус ротора.

Параметр  $Q_{\delta 0}$  это удельное количество теплоты, выделяемое в единицу времени в зазоре вследствие вязкой диссипации. Количество теплоты, выделяемое в объеме зазора в единицу времени определяется как

$$Q_{\delta 0} \cdot V_{\delta},$$

где  $V_{\delta}$  – объем жидкости внутри зазора равный  $V_{\delta} = 2\pi R_{r2} \delta h$

Тогда количество теплоты, выделяемое в единицу времени внутри зазора описывается уравнением

$$Q_{\delta} = Q_{\delta 0} V_{\delta} = \mu \frac{2\pi R_{r2}^3 \omega^2 h}{\delta}, \quad (6)$$

Это тепло расходуется на нагревание жидкости, проходящей через каналы ротора и статора, а также на нагревание металлического массива ротора, статора и корпуса РПА. Часть теплоты выделяемой в зазоре, передается через внешнюю поверхность корпуса в окружающую среду.

### 5. Массовый расход жидкости через РПА

Массовый расход жидкости через РПА описывается уравнением

$$G_m = S_0 \sqrt{\frac{\omega^2 (R_{r2}^2 - R_{r1}^2)}{\sum \zeta_z}}, \quad (7)$$

где  $R_{r1}$  и  $R_{r2}$  – внутренний и внешний радиусы ротора;  $\sum \zeta_z$  – сумма коэффициентов гидравлических сопротивлений в линии. Эти сопротивления включают путевые сопротивления каналов ротора и статора –  $\zeta_{rot}$  и  $\zeta_{rot}$ , соответственно, путевые сопротивления трубопроводов, соединяющих РПА с бункером, а также сопротивления, определяющие потери напора перед в входом в канала ротора и на выходе из каналов статора. Однако наибольший вклад в расход жидкости в аппарате вносит сопротивление межцилиндрового зазора  $\zeta_s = f(\tau)$ , величина которого периодически меняется с большой частотой в широком интервале в процесс вращения ротора и перекрытии отверстий каналов ротора и статора. Трудность оценки величины расхода заключается в том, что коэффициенты гидравлических сопротивлений, входящих в уравнение, в свою очередь, зависят от величины расхода  $G_m$ .

### 6. Расчет изменения температуры в РПА

Обозначим температуру на входе в каналы ротора  $T_{вх}$ ; температуру на выходе из каналов статора-  $T_{вых}$ ; температуру жидкости в бункере –  $T_b$ ; температуру жидкости на входе в бункер –  $T_1$ ; Начальная температура жидкости и самого аппарата обозначается  $T_0$  и равна температуре окружающего воздуха  $T_a$ . Объем жидкости в бункере –  $V_0$

Масса металлического бункера –  $m_1$ ; масса подводящего трубопровода между выходом из бункера и входом в каналы ротора –  $m_2$ ; массу ротора –  $m_{rot}$ ; массу статора –  $m_{stat}$ ; массу корпуса РПА –  $m_{corp}$ ; массу трубопроводов от выхода из корпуса РПА до входа в бункер –  $m_3$ .

Плотность жидкости –  $\rho$ ; теплоемкость жидкости –  $c_0$ ; теплоемкость металла (стали) –  $c_m$ . Массовый расход жидкости через РПА –  $G_m$ , объемный расход –  $G_V$ .

Жидкость в бункере объемом  $V_0$  в момент времени  $\tau$  имеет температуру  $T_b$ . В единицу времени в бункер поступает количество жидкости  $G_V$  с температурой  $T_1$  и отводится количество жидкости  $G_V$  с температурой  $T_b$ .

Количество тепла, поступающего в бункер в единицу времени равно  $Q_1 = \rho c_0 G_V (T_1 - T_0)$ , количество отводимого тепла –  $Q = \rho c_0 G_V (T_b - T_{0b})$ .

Поскольку  $T_1 > T_b$ , тепло, поступающее в бункер в единицу времени идет на нагревание жидкости в бункере и материала самого бункера

Из уравнения теплового баланса

$$(\rho c_0 V_0 + m_1 c_m) \frac{dT_b}{d\tau} = \rho c_0 G_V (T_1 - T_b), \quad (8)$$

следует, что повышение температуры жидкости в бункере и стенок бункера в единицу времени определяется из условия баланса тепла и описывается уравнением

$$\frac{dT_b}{d\tau} = \frac{\rho c_0 G_V (T_1 - T_b)}{\rho c_0 V_0 + m_1 c_m}, \quad (9)$$

Выходящая из бункера жидкость с температурой  $T_b$  поступает в зазор на выходе из каналов ротора, нагревая по пути подводящий трубопровод и прилегающие к нему металлические конструкции с общей массой  $m_2$ , включая и массу ротора  $m_{rot}$ . При этом температура жидкости на этом участке снижается. За счет подвода тепла более нагретой жидкостью температура на выходе из каналов ротора  $R_{ex}$  повышается в единицу времени на величину  $dT_{ex}$ .

Из уравнения теплового баланса

$$m_2 c_m \frac{dT_{ex}}{d\tau} = \rho c_0 G_V (T_b - T_{ex}), \quad (10)$$

следует, что повышение температуры жидкости в бункере и стенок бункера в единицу времени определяется из условия баланса тепла и описывается уравнением

$$\frac{dT_{ex}}{d\tau} = \frac{\rho c_0 G_V (T_b - T_{ex})}{m_2 c_m}, \quad (11)$$

При переходе через каналы ротора и статора и через зазор жидкость нагревается за счет интенсивной вязкой диссипации в зазоре и повы-

шается до температуры  $T_{вых}$  на выходе из зазора при входе в каналы статора. Из уравнения теплового баланса следует, что

$$\rho c_0 (T_{вых} - T_{вх}) = Q_{\delta}, \quad (12)$$

где количество теплоты, выделяемой в единицу времени внутри зазора описывается уравнением

$$Q_{\delta} = \mu \frac{2\pi\omega R_{r2}^3 \omega^2 h}{\delta}, \quad (13)$$

Очевидно, что вследствие поступления на вход каналов ротора жидкости с более высокой температурой, температура жидкости на выходе из каналов статора  $T_{вых}$  должна в единицу времени также повыситься на некоторую величину  $dT_{вых}$ .

Будем считать, что выходящая из каналов статора жидкость с температурой  $T_{вых}$  нагревает массу статора, массу корпуса РПА и массу трубопровода между корпусом РПА и входом в бункер. Общая масса нагреваемых металлических конструкций на этом участке равна  $m_3$ , включая массу статора,  $m_{stat}$  и массу корпуса  $m_{corp}$ . На вход бункера жидкость приходит с температурой  $T_1 < T_{вых}$ . При этом вследствие поступления более нагретой жидкости температура жидкости на входе в бункер в единицу времени возрастает на величину  $dT_1$ .

Из уравнения теплового баланса для этого участка

$$m_3 c_m \frac{dT_1}{d\tau} = \rho c_0 G_V (T_{вых} - T_1), \quad (14)$$

следует, что повышение температуры жидкости на вход в бункер в единицу времени описывается уравнением

$$\frac{dT_1}{d\tau} = \frac{\rho c_0 G_V (T_{вых} - T_1)}{m_3 c_m}, \quad (15)$$

Суммируя левые и правые части уравнений (5), (7) и (11), получим

$$(\rho c_0 V_0 + m_1 c_m) \frac{dT_b}{d\tau} + m_2 c_m \frac{dT_{вх}}{d\tau} + m_3 c_m \frac{dT_1}{d\tau} = \rho c_0 G_V (T_{вых} - T_{вх}) \quad (16)$$

Из полученного уравнения следует, что теплота, приобретаемая на каждом участке линии РПА в единицу времени в сумме равна количеству теплоты, выделяемому тепловым источником в зазоре вследствие вязкой диссипации. Используя уравнения (9) и (10), уравнение теплового баланса (8) можно представить в виде



$$(\rho c_0 V_0 + m_1 c_m) \frac{dT_b}{d\tau} + m_2 c_m \frac{dT_{ex}}{d\tau} + m_3 c_m \frac{dT_1}{d\tau} = \mu \frac{2\pi\omega R_{r_2}^3 \omega^2 h}{\delta}, \quad (17)$$

Далее можно сделать важное допущение, что при работе РПА температура на каждом участке линии возрастает на одинаковую величину, т.е.

$$\frac{dT_b}{d\tau} = \frac{dT_{ex}}{d\tau} = \frac{dT_1}{d\tau}, \quad (18)$$

Подставляя это условие в равенство (2.9), приходим к уравнению

$$(\rho c_0 V_0 + m_1 c_m + m_2 c_m + m_3 c_m) \frac{dT_b}{d\tau} = \mu \frac{2\pi\omega R_{r_2}^3 \omega^2 h}{\delta}, \quad (19)$$

из которого следует, что изменение температуры в бункере описывается обыкновенным дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dT_b}{d\tau} = \mu \frac{2\pi R_{r_2}^3 \omega^2 h}{\delta (\rho c_0 V_0 + m_1 c_m + m_2 c_m + m_3 c_m)}, \quad (20)$$

Т.к. в правой части этого уравнения все параметры кроме вязкости являются постоянными, уравнение можно записать в простом виде

$$\frac{dT_b}{d\tau} = K \cdot \mu(\tau), \quad (21)$$

где константа  $K$  описывается выражением

$$K = \frac{2\pi R_{r_2}^3 \omega^2 h}{\delta \cdot [\rho c_0 V_0 + c_m (m_1 + m_2 + m_3)]} = \frac{2\pi R_{r_2}^3 \omega^2 h}{\delta \cdot (\rho c_0 V_0 + m_{sum} c_m)}, \quad (22)$$

где  $m_{sum}$  суммарная масса металла в линии РПА.

В знаменателе в скобках содержится все масса составляющих РПА, включая обрабатываемую жидкость, которые нагреваются в процессе обработки.

Легко подсчитать, что при общей массе металла (стали) в линии РПА и количестве жидкости 100 л на нагрев металла затрачивается не более 10% от общих затрат тепла.

Решение уравнения (18), определяющее зависимость температуры в бункере от времени, сводится к виду

$$T_b - T_0 = K \cdot \int_0^{\tau} \mu(\tau) \cdot d\tau, \quad (23)$$

Расчет по формуле (19) дает значение  $K = 4,25 \cdot 10^{-3}$ .

Решение уравнения (20) затрудняется тем обстоятельством, что зависимость вязкости обрабатываемой в РПА смеси нельзя опреде-

лить теоретически путем. Для нахождения этой зависимости следует использовать результаты экспериментального определения вязкости проб обрабатываемой смеси, взятых на различных этапах обработки.

В таблице представлены имеющиеся экспериментальные данные по определению вязкости в различные моменты времени с начала обработки.

Таблица 1

Параметры	Время, сек		
	300	540	840
Вязкость $\infty$ , Па.с	0,2	1,1	2,7 (2,1)
Расход $G_m$ , кг/с	0,92	0,70	0,33

Поданным этой таблицы зависимость вязкости от времени для исследуемой смеси можно аппроксимировать уравнением

$$\mu(\tau) = \mu_0 + k_\mu \cdot \tau^{2,2}, \quad (24)$$

Здесь  $\infty_0$  – вязкость в момент времени  $\tau=0$ , которую принимаем равной вязкости воды (0,001 Па.с). Коэффициент  $k_x=1.23.106$ .

Подставляя эти значения в уравнение (16) и проводя интегрирование, получим

$$T_b - T_0 = T_0 + K \cdot \int_0^\tau (\mu_0 + k_\mu \tau^{2,2}) \cdot d\tau = K \cdot \int_0^\tau \mu(\tau) \cdot d\tau = K \cdot \tau (\mu_0 + k_\mu \tau^{2,2}), \quad (25)$$

При  $\tau=5$  мин =300 сек температура  $T_b=28,75^\circ\text{C}$

При  $\tau=9$  мин =540 сек температура  $T_b=45,15^\circ\text{C}$

При  $\tau=14$  мин =840 сек температура  $T_b=90,15^\circ\text{C}$

Повышение температуры в жидкости при переходе через зазор можно также оценить на основе анализа экспериментальных данных.

Теплота  $Q_\delta$ , выделяемая в единицу времени в зазоре вследствие эффекта вязкой диссипации оценивается по уравнению (10).

Количество теплоты, получаемое жидкостью при заданном объеме-расходе  $G_V$ , определяется в соответствии с уравнением (9)

$$\rho c_0 G_V (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) = \rho c_0 \cdot \Delta T_\delta = Q_\delta, \quad (26)$$

Перепад температуры  $\Delta T_\delta$  в определенный момент времени работы РПА определяется по формуле

$$\Delta T_{\delta} = \frac{Q_{\delta}}{\rho c_0 G_V} \quad (27)$$

Следовательно, если для данного момента времени известен расход  $G_V$  и вязкость  $\alpha$ , то можно легко оценить повышение температуры жидкости для данного момента времени. Для расчета воспользуемся данными таблицы 1.

Для тех же значений времени 5, 9 и 14 минут берем экспериментальные значения расхода  $G_V$  и вязкости  $\alpha$ , указанные в таблице 1. Зная вязкость, рассчитываем по формуле (10) для этих моментов времени количество теплоты  $Q_{\delta}$ , а по формуле (19) повышение температуры жидкости в зазоре  $\Delta T_{\delta}$ . Рассчитанные значения содержатся в таблице 2. В этой же таблице содержатся значения температуры жидкости в бункере  $T_b$  для этих моментов времени.

Таблица 2

Параметры	Время, сек		
	300	540	840
Вязкость $\alpha$ Па·с	0,2	1,1	2,1
Расход $G_m$ кг/с	0,92	0,70	0,33
Теплота $Q_{\delta}$ , ккал/с	1,27	7,0	12,72
Прирост темп. $\Delta T_{\delta}$ , °С	1,38	10,0	38,6
Температура, °С	28,75	45,15	90,15

Как видно из таблицы 2, температура в бункере, по расчетным данным, достигает 900С, такое высокое значение объясняется тем, что для расчета используются значения вязкости, полученные экспериментально.

## 7. Поля давления в рабочей зоне РПА

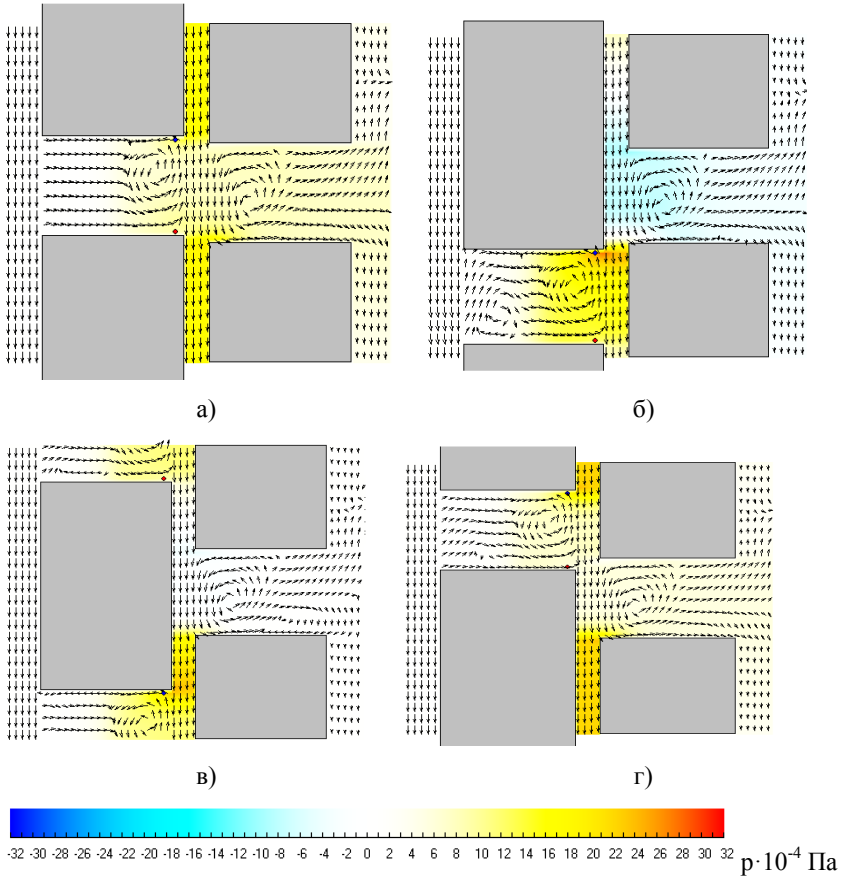
Важнейшей динамической характеристикой потока является поле давления, которое изменяется во времени. Влияющими факторами на процессы деформации и разрушения дисперсных частиц в гетерогенных средах, обрабатываемых в РПА, являются пульсации давления, а также нормального и касательного напряжений, возникающие в потоке при его прохождении через рабочую зону аппарата. Распределение давления по объему рабочей зоны отличается значительной

степенью неравномерности, причем характер его распределения стремительно меняется во времени. Возникающие в потоке градиенты давления способствуют деформации частиц, а его пульсации во времени могут вызвать высокочастотные колебания их оболочек, что приводит к разрыву межфазных границ. Причиной возникновения адиабатического закипания обрабатываемой среды и последующих кавитационных эффектов в рабочей зоне аппарата может быть пульсационный характер изменения давления. Данный факт также способствует разрушению твердых частиц дисперсии.

На рис. 2 представлены поля избыточного давления в рабочей зоне аппарата, полученные методом численного моделирования течения жидкости с вязкостью  $\mu = 1,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$  в различные моменты времени. Поскольку рассматриваемый процесс является периодическим во времени, можно условно считать, что момент совпадения прорезей ротора и статора соответствует моменту времени  $\tau = 0$ . Как показано на рис. 2, а, избыточное положительное давление (до  $+190 \text{ кПа}$ ) наблюдается в зазорах между ротором и статором. По мере постепенного перекрытия стенкой ротора прорези статора (рис. 2, б), у левого внутреннего торца прорези статора давление начинает увеличиваться, а около правой стенки ротора давление падает. При дальнейшем увеличении степени взаимного перекрытия прорезей, давление в потоке около внутренней стенки статора увеличивается (между ротором и статором).

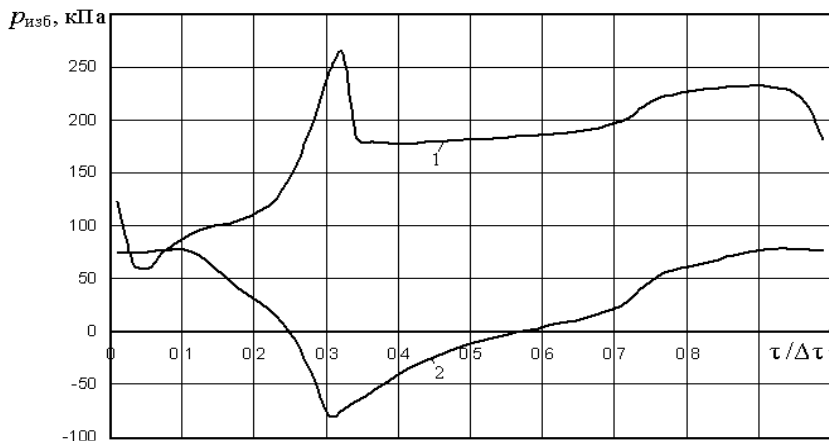
К моменту полного взаимного перекрытия прорезей статора стенкой ротора (рис. 2, в), область положительного давления у левого внутреннего торца прорези статора перемещается вниз по потоку и оказывается между ротором и статором. Наибольшее положительное давление (до  $+260 \text{ кПа}$ ) в этой зоне достигается в зазоре между ротором и статором (рис. 2, г).

Как упоминалось выше, важной динамической характеристикой потока является поле давления, которое, как и поле скоростей, изменяется во времени. Анализ вышеуказанных рисунков показывает, что наиболее высокое давление наблюдается в момент, когда каналы ротора начинают совпадать с каналами статора. В это же время наблюдается область отрицательного давления, которое происходит на входе в прорезь статора. По мере постепенного перекрытия стенками ротора каналов статора поле давления существенно изменяется. Как видно из



**Рис. 2. Поля избыточного давления в рабочей зоне аппарата в различные моменты времени при вязкости обрабатываемой среды  $\mu=1,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$**

рис. 3 в период времени  $\tau=0,3$  когда кромки каналов ротора и статора сближаются, давление повышается до  $+ 260 \text{ кПа}$ . При этом уменьшается давление около наружной стенки канала ротора, перекрывающей вход в канал статора. В момент  $\tau=0,3$  давление в этой области падает до  $- 80 \text{ кПа}$ .



**Рис. 3.** Изменение во времени избыточного давления: 1 – на входе в зазор между ротором и статором; 2 – на входе в прорезь статора

В результате того, что участки минимального и максимального давлений располагаются в непосредственной близости друг к другу, около кромок возникают высокие градиенты давления, а также нормального и касательного напряжений, которые способны вызывать деформации и разрушения твердых частиц дисперсии. С увеличением перепада давления  $\Delta P$  абсолютные значения максимумов давления вблизи кромок возрастают. Следует также отметить, что подъем давления около кромок, а также его спад, происходят за достаточно короткие промежутки времени. Таким образом, процесс изменения давления имеет характер кратковременных пульсаций.

Из представленных результатов следует, давление жидкости в РПА изменяется наиболее интенсивно в зазорах между ротором и статором. Значительные перепады давления в зазорах можно объяснить тем, что основным физико-химическим свойством жидкости является ее высокая вязкость.

### **8. Расход и скорость гетерогенной жидкости, протекающий через рабочую зону аппарата**

Аппараты роторного типа относятся к устройствам периодического действия. Геометрическая периодичность конструкций рабочих

элементов аппарата предопределяет периодичность изменения во времени динамических характеристик течения жидкости через рабочую зону. Другими словами, при установившемся режиме работы аппарата картина течения жидкости повторяется после очередного поворота ротора на периодический угол  $\Delta\theta$ . Указанным периодом времени будет интервал  $\Delta t$ . Учитывая вышесказанное, будем в дальнейшем рассматривать результаты расчета характеристик работы аппарата на указанном интервале времени  $0 < \tau < \Delta T$ .

Одним из важных показателей работы РПА является расход жидкости, протекающий через рабочую зону в радиальном направлении.

Расход жидкости в радиальном направлении пропорционален величине средней скорости радиального течения. На рис. 4. представлены изменения во времени средней скорости обрабатываемой среды во входном сечении рабочей зоны за один период при разных значениях вязкости. Отношения  $\tau/\Delta\tau=0$  и  $\tau/\Delta\tau=1$  соответствуют моментам совпадения осей прорезей ротора и статора. Как видно с графика, кривые  $V(\tau)$  на протяжении периода  $\Delta t$  имеют как минимумы, так и максимумы. Максимум скорости соответствует значению времени  $\tau/\Delta\tau=0,2$ . В этот момент имеет место смещение оси отверстия ротора относительно оси отверстия статора на некоторый угол  $\Delta\theta>0$ , то есть после совмещения осей ротора и статора. Минимум же скорости наблюдается несколько позже полного взаимного перекрытия отверстий ротора и статора ( $\tau/\Delta\tau=0,6$ ). Характер повышения скорости от ее минимального значения до максимального более плавный, чем характер убывания от максимального значения до минимального. При этом интервал времени, соответствующий убыванию скорости, составляет около 0,4 от длительности всего периода  $\Delta t$ . Из представленного рис. 4 также видно, что за один период значения скорости  $V(\tau)$  уменьшаются с увеличением вязкости среды  $\mu$ , что является результатом роста сопротивления трения потоку жидкости в отверстиях.

На рис. 5 представлена зависимость расхода обрабатываемой среды от вязкости. Как видно с графика, сопоставление результатов расчета (кривая 2) с результатом эксперимента (кривая 1) показывают их удовлетворительное согласование. При этом для  $\mu>0,8$  Па·с расход среды, полученный расчетным путем, оказывается ниже, чем найденный из эксперимента, а при  $\mu<0,7$  Па·с – выше.

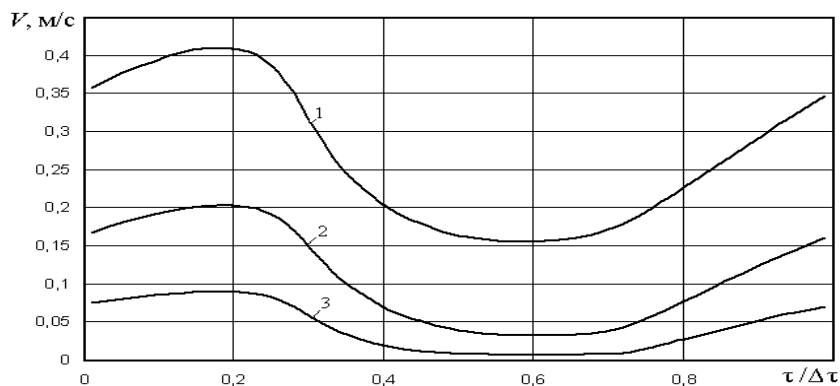


Рис. 4. Изменение во времени среднемассовой радиальной скорости обрабатываемой среды во входном сечении рабочей зоны за один период: 1 –  $\mu=0,2 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 2 –  $\mu=1,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 3 –  $\mu=2,0 \text{ Па} \cdot \text{с}$

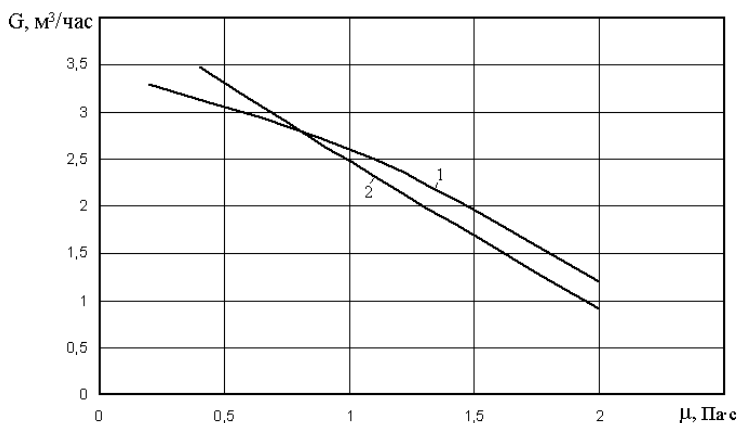


Рис. 5. Зависимость расхода обрабатываемой среды от вязкости: 1 – эксперимент; 2 – расчет



**9. Влияния вязкости обрабатываемой среды  
на степень ее разогрева и на уровень  
диссипативного тепловыделения в рабочем объеме**

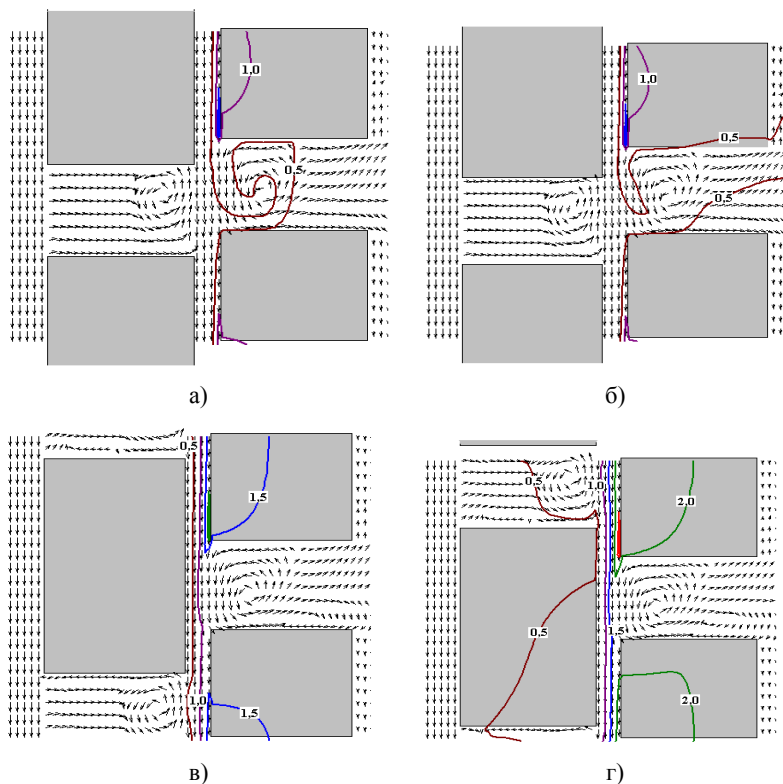
Течение жидкости через рабочую зону РПА сопровождается ее нагревом. Нагрев жидкости в аппарате является следствием диссипации механической энергии в тепловую. Изучению этого вопроса посвящен ряд научных публикаций, где при расчете степени нагрева жидкости в межцилиндровых зазорах использовалось предположение о линейности функции распределения окружной скорости в зазоре. При этом пространство аппарата, в котором рассматривались диссипативные явления, фактически ограничивалось областями зазоров. Полученные в данных работах теоретические результаты оказались близки к результатам экспериментальных исследований, хотя очевидно, что более достоверные результаты были бы получены при рассмотрении диссипации механической энергии во всем рабочем пространстве РПА, включающем радиальные прорезы ротора и статора аппарата.

Исследование нагрева жидкости в рабочей зоне РПА выполняется на основе численного решения уравнения энергии (4). Функция распределения температуры жидкости по рабочему объему РПА является периодической по угловой координате. Температура жидкости  $T_0$  на выходе в рабочую зону считается заданной, а на выходе из рабочей зоны радиальная производная от температуры принимается равной нулю.

Результаты расчета полей избыточной температуры ( $T - T_0$ ) при ламинарном течении ньютоновских жидкостей в различные моменты времени при вязкости обрабатываемой среды  $\mu=1,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$  представлены на рис.2.8. Как видно из представленных рисунков, жидкость существенно всего нагревается в зазорах между ротором и статором (рис. 6, а, б). Наиболее интенсивное тепловыделение за счет диссипации происходит при взаимном перекрытии прорезей статора и ротора (рис.6 в, г). Избыточная температура у кромки статора на данном временном интервале увеличивается до  $2,0 \dots 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**10. Выводы**

Таким образом, в результате численного исследования динамики жидкости в роторно-пульсационном аппарате:



**Рис. 6. Поля избыточной температуры в рабочей зоне аппарата в различные моменты времени при вязкости обрабатываемой среды  $\mu=1,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$**

Установлено значительное увеличение давления в зазорах относительно давления на входе в рабочую зону аппарата, которое связано с высокой вязкостью обрабатываемой среды.

Найдены зависимости от вязкости среднemasсовой скорости потока, а также мощности источников диссипативного тепловыделения в обрабатываемой среде.

Исследованы поля избыточной температуры в рабочей зоне аппарата в различные моменты времени.

**Список литературы:**

1. Долінський А.А. Принцип дискретно-імпульсного введення енергії та його використання в технологічних процесах. *Вісник АН УРСР*. 1984. № 1. С. 39–46.
2. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. I. Модель динамики одиночного парового пузырька. *Пром. теплотехника*. 1995. Т. 17. № 5. С. 3–28.
3. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. II. Исследование поведения ансамбля паровых пузырьков. *Пром. теплотехника*. 1996. Т. 18. №1. С. 3–20.
4. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Принципы разработки новых энерго- ресурсосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии. *Пром. теплотехника*. 1997. Т. 19. № 4-5. С. 13–25.
5. Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый И.С., Накорчевский А.И., Шурчкова Ю.А. Дискретно-импульсный ввод энергии в технологиях. Киев : ИТТФ НАНУ, 1996. 208 с.
6. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии. Київ : Наукова думка, 2008. 381 с.
7. Долинский А.А. Использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии для создания эффективных энергосберегающих технологий. *ИФЖ*. 1996. Т. 69. № 6. С. 35–43.
8. Басок Б.И., Гартвиг А.П., Коба А.Р. Оборудование для получения и обработки высоковязких дисперсных сред. *Пром. теплотехника*. 1996. № 1. С. 50–56.
9. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Рыжкова Т.С. Гидродинамика роторно-пульсационных аппаратов. *ИФЖ*. 2002. Т. 75. № 2. С. 58–68.
10. Басок Б.И., Давыденко Б.В., Авраменко А.А., Пироженко И.А. Гидродинамика, теплообмен и эффекты дробления во вращательно пульсирующих потоках. Київ : Наукове видання, 2012. 296 с.

**References:**

1. Dolinskyj, A. A. (1984). Pryncyp dyskretno-impul'snogo vvodennja energiji ta joho vykorystannja v tekhnologichnykh procesakh [The principle of discrete-pulse energy input and its use in technological processes]. *Visnyk AN URSR*, no. 1, pp. 39–46.
2. Dolinskiy, A. A., & Ivanitskiy, G. K. (1995). Teoreticheskoe obosnovanie printsipa diskretno-impul'snogo vvoda energii. I. Model' dinamiki odinochnogo parovogo puzyr'ka [Theoretical basis of the principle of discrete-pulse energy input. I. Dynamics model of a single vapor bubble]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, no. 17(5), pp. 3–28.
3. Dolinskiy, A. A., & Ivanitskiy, G. K. (1996). Teoreticheskoe obosnovanie printsipa diskretno-impul'snogo vvoda energii. II. Issledovanie povedeniya ansam-

blya parovykh puzyr'kov [Theoretical basis of the principle of discrete-pulse energy input. II. Study of the behavior of the ensemble of vapor bubbles]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, no. 18(1), pp. 3–20.

4. Dolinskiy, A. A., & Ivanitskiy, G. K. (1997). Printsipy razrabotki novykh energo- resursosberegayushchikh tekhnologiy i oborudovaniya na osnove metodov diskretno-impul'snogo vvoda energii [Principles for the development of new energy saving technologies and equipment based on discrete-pulse energy input methods]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, no. 19(4-5), pp. 13–25.

5. Dolinskiy, A. A., Basok, B. I., Gulyy, I. S., Nakorchevskiy, A. I., & Shurchkova, Yu. A. (1996). Diskretno-impul'snyy vvod energii v tekhnologiyakh [Discrete-pulse energy input in technology]. Kiev: ITTF NANU. (in Russian)

6. Dolinskiy, A. A., & Ivanitskiy, G. K. (2008). Teplomassoobmen i gidrodinamika v parozhidkostnykh dispersnykh seredakh Teplofizicheskie osnovy diskretno-impul'snogo vvoda energii [Heat and mass transfer and hydrodynamics in vapor-liquid dispersed media. Thermophysical principles of discrete-pulse energy input]. Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)

7. Dolinskiy, A. A. (1996). Ispol'zovanie printsipa diskretno-impul'snogo vvoda energii dlya sozdaniya effektivnykh energosberegayushchikh tekhnologiy [Using the principle of discrete-pulse input of energy to create effective energy saving technologies]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*, no. 69(6), pp. 35–43.

8. Basok, B. I., Gartvig, A. P., & Koba, A. R. (1996). Oborudovanie dlya polucheniya i obrabotki vysokovyazkikh dispersnykh sred [Equipment for obtaining and processing highly viscous dispersed media]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, no. 1, pp. 50–56.

9. Nakorchevskiy, A. I., Basok, B. I., & Ryzhkova, T. S. (2002). Gidrodinamika rotorno-pul'satsionnykh apparatov [Hydrodynamics of rotor-pulsating apparatus]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*, no. 75(2), pp. 58–68.

10. Basok, B. I., Davydenko, B. V., Avramenko, A. A., & Pirozhenko, I. A. (2012). Gidrodinamika, teploobmen i efekty drobleniya vo vrashchatel'no pul'siruyushchikh potokakh [Hydrodynamics, heat transfer and crushing effects in rotationally pulsating flows]. Kyiv: Naukove vydannia. (in Russian)

**MATHEMATICAL MODELING OF DIESEL ENGINE  
OPERATION MODE INFLUENCE ON MASS EMISSION  
OF PARTICULATE MATTER WITH EXHAUST GASES  
USING MICROTUNNEL**

**Andrey Polivyanchuk<sup>1</sup>**

**Igor Gritsuk<sup>2</sup>**

**Elena Skuridina<sup>3</sup>**

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-56>

**Abstract.** The work is devoted to solving an urgent scientific and practical task: establishing mathematical models that describe the effect of operating modes of diesel engines on the content in the exhaust gases of a dangerous pollutant – particulate matter (PM). The purpose of the work has been to create and study the accuracy and practical suitability of the calculation method estimating concentrations and emissions with exhaust gases PM by means of mathematical modeling of the influence on them of parameters that determine steady-state and unsteady diesel operation modes. The following research methods have been used in the work, such as: analysis and synthesis of information, mathematical modeling, experimental studies, and computational experiment. The studies have been carried out on the basis of the motor stand of a 4ChN12/14 autotractor diesel equipped with a partial-flow system for diluting EG with air – MKT-2 microtunnels. Measurements of mass and volume concentrations –  $c_{pt}$  (g/kg) and  $C_{pt}$  (g/mn<sup>3</sup>), mass –  $PT_{mass}$  (g/h) and specific –  $PT_p$  (g/kWh) PM emissions have been carried out by the gravimetric method with errors of  $\pm 3 \dots 10\%$  in accordance with the requirements of regulatory documents – ISO8178 standard, UNECE Rules R-49, R-96, etc. The parameters, which determine the mode of operation of the diesel engine, have been considered: during the study of

---

<sup>1</sup> Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Urban Environmental Engineering,  
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Operation of Ship Energy Systems,  
Kherson State Maritime Academy, Ukraine

<sup>3</sup> Graduate Student, Department of Urban Environmental Engineering,  
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

the steady-state modes – the number of revolutions of the engine crankshaft ( $n$ ,  $\text{min}^{-1}$ ) and the load ( $L$ , %); in the study of unsteady modes – the parameters  $n$  and  $L$  and the rate of change over time –  $\Delta n/\Delta t$  and  $\Delta L/\Delta t$ . As a result of studying concentrations and emissions PM at steady operation modes, the type has been selected and the most reliable regression dependence has been established – a second-order polynomial model that allows us to estimate the values of  $C_{\text{pt}}$ ,  $PT_{\text{mass}}$  and  $PT_{\text{p}}$  in the ranges of variation of the parameters  $n$  and  $L$  –  $1000 \dots 2000 \text{ min}^{-1}$  and  $25 \dots 100\%$ . The RSM of the established dependencies when determining the indicated values is comparable with the errors of microtunnels MKT-2 and is  $\pm 0.0042 \text{ g/mn}^3$ ,  $\pm 2.02 \text{ g/h}$ ,  $\pm 0.077 \text{ g/kWh}$ . A dependence for indirectly determining the mass concentration of PM in the exhaust gases at unsteady diesel operating modes, which are characterized by a duration of  $10 \dots 30 \text{ s}$  and ranges of variation of the parameters  $n$ ,  $L$ ,  $\Delta n/\Delta t$  and  $\Delta L/\Delta t$ , given in dimensionless form:  $0.4 \dots 0.8$ ,  $0.3 \dots 1.0$ ,  $-0.2 \dots 0.2$  and  $-0.35 \dots 0.35$ , respectively, has been established. The deviation of the calculated and experimental data when using this dependence is  $\pm 0.005 \dots 0.006 \text{ g/kg}$ , which is comparable with the sensitivity limit of MKT-2. A satisfactory accuracy and practical suitability of the indirect optical-gravimetric method for controlling PM concentrations and emissions at steady-state diesel engine operating modes were proposed and experimentally confirmed.

## 1. Introduction

Among the most dangerous pollutants that enter the atmosphere with exhaust gases (EG) of diesels and significantly degrade air quality indicators, there are solid particles (PM) [1]. The averaged mass emission of this substance from EG, which is determined taking into account the operating conditions of the engine, is one of the main normalized environmental indicators of a diesel engine [2]. At the same time, for PM take all the material, assembled on a special filter with fluorocarbon coating after passing through it a EG diesel, diluted with clean air to a temperature not exceeding  $52 \text{ }^\circ\text{C}$  is the dew point of the liquid hydrocarbons that make up the PM.

The methodology for determining PM mass emissions is regulated by regulatory documents and involves the use of the gravimetric measurement method, which is characterized by an increased cost, laborious-

ness and duration of the test procedure [3]. To implement this method, special expensive equipment is required: a dilution tunnel, in which the natural process of PM penetration into the atmosphere by mixing the EG of the diesel engine with air is simulated and PM samples are collected on filters to further determine the concentration and emissions of PM from the EG [4]. In this regard, when conducting environmental diagnostics of diesel engines according to exhaust gas toxicity indicators, the urgent task is to create more economical, easy-to-use, and high-speed indirect methods for controlling PM content in EG [5; 6]. One of these methods is a computational research method based on the use of mathematical models of the influence of diesel operating modes on PM concentrations and emissions [7; 8].

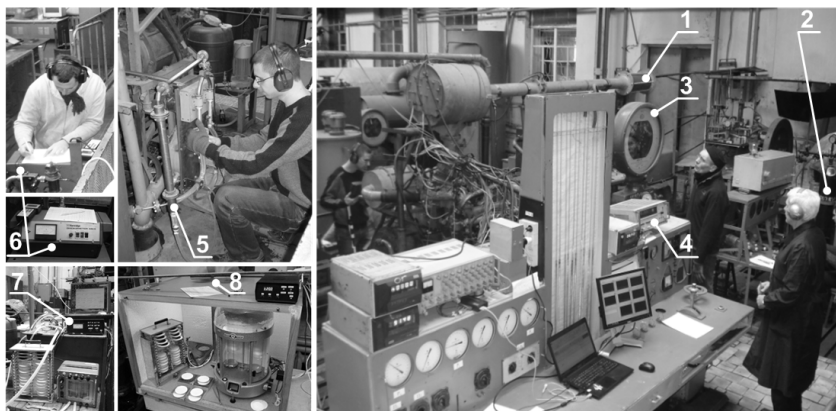
*The purpose of the work* has been to create and study the accuracy of the calculation method for estimating PM content in diesel EG by mathematical modeling of the influence of parameters that determine stable and unstable engine operation modes on concentrations, mass and specific emissions of PM. To achieve this goal, the following *tasks* have been solved:

- 1) development of an experimental setup for the study of PM content in exhaust gases on the basis of a motor diesel stand equipped with a gravimetric monitoring system PM – microtunnel;
- 2) mathematical modeling of the influence of parameters that determine the stable modes of diesel operation on the concentration and mass emissions of PM;
- 3) mathematical modeling of the influence of parameters that determine the unstable modes of diesel operation on PM concentration;
- 4) creation and research of an indirect optical-gravimetric method for controlling PM concentrations and emissions at steady-state diesel operation modes.

Below are the results of solving these problems.

### **2. Experimental installation for studying the content of PM in EG**

The experimental setup was assembled on the basis of the motor stand of a 4ChN12/14 autotractor diesel engine, equipped with control means and control devices for parameters characterizing stable and unstable engine operation modes, as well as an automated gravimetric control system for PM – microtunnels MKT-2 (Figure 1).



**Figure 1. General view of the motor diesel engine stand 4ChN12 / 14 with microtunnels MKT-2:**

1 – mass air flow meter; 2 – fuel mass flow meter; 3 – torque meter; 4 – a measure of the number of revolutions of the engine crankshaft; 5 – gravimetric control system PM – microtunnels MKT-2; 6 – exhaust smoke meter; 7 – electronic control module MKT-2, 8 – camera for stabilization and weigh-ing of filters

### **Basic elements, operating principle and technical characteristics of MKT-2**

Microtunnel MKT-2 [9] is a compact partial-stream system for diluting EG of a diesel engine with air, sampling and analysis of PM samples, designed in accordance with the requirements of international regulatory documents: ISO8178 standard, UNECE Rules R-49, R-96, etc. The structure of MKT -2 includes the following *main elements* (Figure 2, 3):

1) a sampling system designed to dilute the share of EG – 0,02 ... 1,2% by air in a ratio of 1: 4 ... 1: 30; it contains three subsystems:

a) a system for selecting a fraction of the exhaust gas stream, which includes:

– a sampler, which is a stainless steel pipeline with an inner diameter of 6 mm and a length of 80 mm, mounted on the axial line of the exhaust pipe of the diesel towards the flow of the EG;

– transportation pipeline of sample (PS) with an inner diameter of 6 mm and a length of 80 mm;

– regulator expense EG by throttling the transverse cross-section PS;



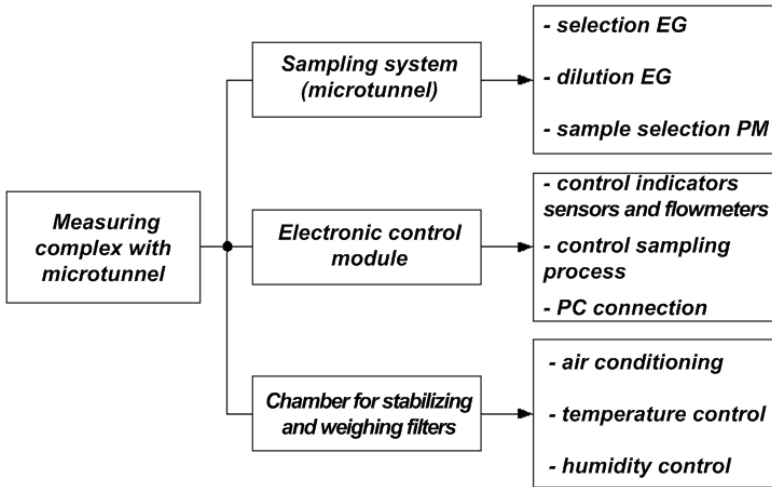


Figure 2. The main elements of MKT-2 and the functions that they perform

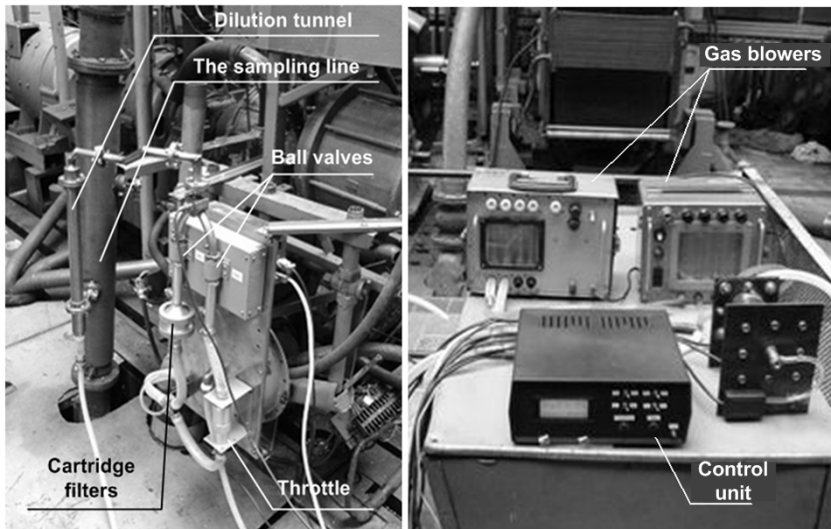
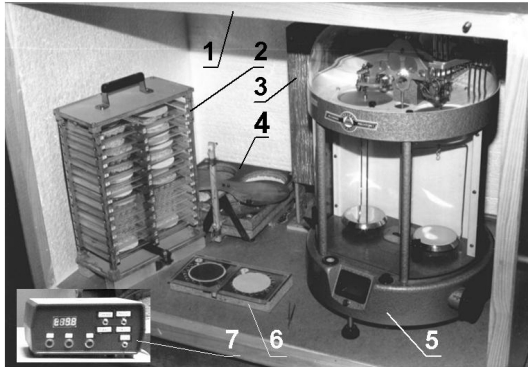


Figure 3. General view of microtunnels MKT-2 at the diesel engine stand 4ChN12/14

- b) a system of dilution of EG, the components of which are:
    - dilution tunnel – stainless steel pipeline with an internal diameter of 30 mm and a length of 300 mm;
    - a diaphragm installed at the entrance to the tunnel in order to improve the process of mixing the EG with air;
    - gas blower, which has a capacity of 20 ... 120 l/min and performs the function of a sampling pump;
    - meter expense of 2 gas flows: diluting air – a collector profiled along a circular arc with an inner diameter of 8 mm and diluted EG – a normal nozzle with an inner diameter of 3 mm;
  - c) PM sampling system, the elements of which are:
    - sampling line – stainless steel pipeline with an inner diameter of 16 mm and a length of 950 mm;
    - regulators of the “bypass” and “sampling” – ball valves;
    - the bypass main line, in which the throttle is installed, which equalizes the pressure in the bypass and working main lines;
    - the working main line in which the cartridge with a filter for sampling is installed;
    - a protective filter with a paper filter element that prevents contamination of the PM sampling pump;
- 2) an electronic control module is a microprocessor unit, which is connected to the PC, to which sensors and governing bodies MKT-2 microtunnel are connected; this module provides the fulfillment of the following operations:
- monitoring the displays of sensors and flowmeters of the sampling system;
  - PM sampling process control – switching bypass and sampling modes;
  - transfer of control and management functions of microtunnels to a PC, allows you to register, process and log measurement results;
- 3) a chamber for stabilization and weighing of filters (Figure 4), which provides the conditions for measuring PM mass established by regulatory documents; inside the camera there are:
- the air temperature control system in the range of 18-40 °C with an accuracy of  $\pm 1$  °C;
  - a system for controlling relative humidity in the range of 40-90% with an accuracy of  $\pm 3\%$ ;



**Figure 4. The main elements of the camera to stabilize and weigh the filters:**

- 1 – housing; 2 – cartridge with filters; 3 – flue with fan and heater;  
4 – humidity regulator; 5 – analytical balance; 6 – stand for filters;  
7 – electronic regulator of temperature and humidity conditions

- analytical balance with a weighing error of  $\pm 0.01$  mg;
- cassette for storage and transportation of working filters with a capacity of up to 30 pairs of filters;
- an electronic controller (control unit) for monitoring and controlling the temperature and humidity conditions of the camera modes; duration the continuous operation of the regulator is 36 hours.

*The principle of operation of MKT-2 is as follows (Figure 5).*

Part of EG with a mass flow rate of the  $G_{\text{exh}}^t$  is taken from the exhaust pipe of the engine and fed through the pipeline to the dilution tunnel – DT, where it is mixed with atmospheric air. From the tunnel, through one of the ball valves, a stream of diluted EG with a  $G_{\text{sam}}$  mass flow rate enters either the bypass main line or the working channel, in which the cartridge with a working filter is installed. For sampling PM, glass fiber-based filters with a fluorocarbon coating are used with capture coefficient PM capture rates greater than 99%. Working filters have an external diameter of 70 mm, the speed of passage of the sample through them varies in the range of 35 ... 100 cm/s. The pressure drop across the filters in the final sampling phase does not exceed 25 kPa. The minimum allowable PM weight on the filter is 0.25 mg. When sampling PM, the temperature of the sample in front

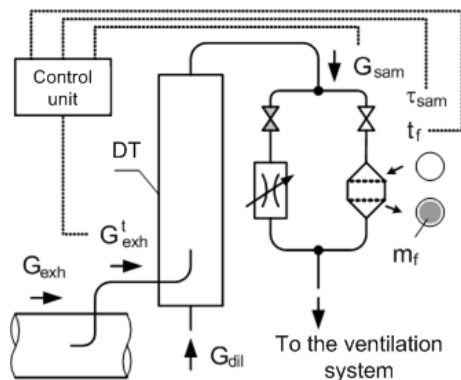


Figure 5. Schematic diagram of microtunnels MKT-2

of the filter  $t_f$  does not exceed 52 °C. Ball valves, which determine the direction of sample flow in the sampling line, are always in the opposite states: when one is open, the other is closed and vice versa. When preparing the sample for analysis, the diluted EG flows through the bypass main line. With the help of a throttle installed in it, the pressure in the line is regulated so that at the time of switching the valves there is no hydraulic blow. During the PM sampling procedure, the entire diluted exhaust gas stream flows through the filter. At the same time, the duration of this procedure is fixed –  $\tau_{sam}$ .

After completion testing is measured the PM mass,  $m_f$  as the mass gain of the working filter during the test. For control the parameters  $G_{exh}^t$ ,  $G_{sam}$ ,  $\tau_{sam}$ ,  $t_f$  and control ball valves an electronic module is used to.

The calculation of mass and volume concentrations –  $c_{pt}$  and  $C_{pt}$ , mass –  $PT_{mass}$  and specific –  $PT_p$  emissions of PM is carried out using the formulas:

$$c_{pt} = \frac{m_f \cdot 10^{-3}}{m_{sam}} \cdot q, \text{ g/kg}, \quad (1)$$

where  $m_f$  – PM mass collected on the filter, mg;

$m_{sam}$  – mass of sample diluted EG, which passed through the filter, kg;

$q$  – the coefficient of dilution of EG with air in the tunnel, which is determined as the result of dividing the value of  $G_{sam}$  by  $G_{exh}^t$ ;

$$C_{pt} = c_{pt} \cdot \rho_{exh}, \text{ g/mn}^3, \quad (2)$$

where  $\rho_{exh}$  – the density EG of the diesel engine, kg/mn<sup>3</sup>;

$$PT_{mass} = C_{pt} \cdot G_{exh}, \text{ g/h}, \quad (3)$$

where  $G_{exh}$  – mass consumption of EG in the test mode, kg/h;

$$PT_p = \frac{PT_{mass}}{P}, \text{ g/kWh}, \quad (4)$$

where  $P$  – effective diesel power, kW:

$$P = \frac{n \cdot M_k}{9550} - P_{aux}, \text{ kW}, \quad (5)$$

where  $n$  – the number of revolutions of the engine crankshaft,  $\text{min}^{-1}$ ;

$M_k$  – torque on the motor shaft,  $\text{N} \cdot \text{m}$ ;

$P_{aux}$  – power of auxiliary equipment, kW.

*Technical characteristics of the MKT-2 microtunnel:*

– the accuracy of measurements of concentrations and PM emissions is characterized by instrumental errors in determining the values of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$ , which are 3... 10% (Table 1);

– the speed of the PM sampling system is characterized by the duration of preparation of the microtunnel for measurements, which does not exceed 5 minutes, and the duration of the PM sampling procedure, which in different modes of diesel operation is from 1 to 7 minutes;

– overall dimensions (L, B, H) –  $500 \times 300 \times 1200$  mm, weight – 40 kg.

Table 1

**Microtunnel accuracy characteristic of MKT-2**

Parameter	Relative measurement error		
	Provided by MKT-2	Requirements of standard ISO 8178	
		Measurements at the stand	Measurements on the object
Mf	2.7%	2.7%	
$\tau_{sam}^{pt}$	0.25%	---	
$G_{exh}$	1.7%	4%	5%
$G_{sam}$	0.8%	2%	
$G_{dil}$	0.8%	2%	
P	2% of the $P_{nom}$	2% of the $P_{nom}$	5% of the $P_{nom}$
$PT_{mass}$	5.1%	6.0%	8.5%

### 3. Study of PM content in EG at steady-state diesel modes

Based on the experimental setup described above, studies have been conducted in order to establish and analyze mathematical models that describe the influence of parameters that determine the stable operating modes of diesel on volumetric concentrations –  $C_{pt}$  (g/mn<sup>3</sup>), mass emissions –  $PT_{mass}$  (g/h) and specific emissions –  $PT_p$  (g/kWh) PM. For this, the following tasks have been solved:

- the choice of control steady-state modes for research is characterized by two parameters: the number of revolutions of the engine crankshaft –  $n$  (min<sup>-1</sup>) and the load –  $L$  (% of maximum torque at current  $n$ );
- measurement of the values of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$  when the diesel engine is in control test modes using MKT-2,
- establishment of regression dependences, reflecting the influence of the parameters  $n$  and  $L$  on the values of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$ ;
- analysis of the results and development of recommendations for their use.

**The choice of control modes of testing, measuring concentrations and emissions of PM.** For research, a 2-factor plan of the  $3 \times 4$  experiment has been chosen, in which the maximum operational ranges of variation of parameters  $n$  and  $L$  with the uniform nature of their changes are reflected. This plan includes 12 steady-state operating modes of the 4ChN12/14 diesel engine with 3 levels of variation of the parameter  $n$  – 1000, 1500 and 2000 min<sup>-1</sup> and 4 levels of variation of the parameter  $L$  – 25, 50, 75 and 100%.

In each control mode, the values of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$ , and  $PT_p$  have been experimentally determined (Table 2). The reproducibility errors of measurements of these values ranged from 4 ... 7% – with a significant content of PM in EG (in modes with a load of 50–100%) to 14 ... 17% – with a small content of PM in EG (in modes with a load of 0–25%). The average values of the measurement errors of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$ , and  $PT_p$  amounted to 8 ... 10% or  $\pm 0.005$  g/mn<sup>3</sup>,  $\pm 1.78$  g/h, and  $\pm 0.04$  g/kWh, respectively.

**Establishment of the dependences of the values of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$  on the parameters that determine the test mode.** Experimental data on the concentration and emissions of PM in the control diesel operation modes have been used to determine the regression dependencies

$$Y = f(n, L), \tag{6}$$

where  $Y$  – a generalized designation of quantities which are controlled –  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  or  $PT_p$ ;

Table 2

**The results of studies of the content of PM in EG  
in control modes of diesel operation 4ChN12/14**

Control test modes					Measurement results		
$N_{mode}$	$n, \text{min}^{-1}$	$M_k, \text{N} \cdot \text{m}$	$P_e, \text{kW}$	$L, \%$	$C_{pt}, \text{g}/\text{mn}^3$	$PT_{mass}, \text{g}/\text{h}$	$PT_p, \text{g}/\text{kWh}$
1	2000	478.0	100.1	100	0.063	37.82	0.378
2	2000	351.4	73.6	73.5	0.038	20.82	0.283
3	2000	239.0	50.05	50	0.042	20.06	0.401
4	2000	119.5	25.02	25	0.062	25.32	1.012
5	1500	541.2	85.01	100	0.074	30.10	0.354
6	1500	407.7	64.03	75.3	0.044	15.61	0.244
7	1500	274.8	42.95	50.5	0.034	11.07	0.258
8	1500	140.6	22.08	26.0	0.023	6.88	0.311
9	1000	379.6	39.74	100	0.125	24.42	0.614
10	1000	281.2	29.44	74.1	0.071	13.06	0.444
11	1000	189.1	19.8	49.8	0.030	5.50	0.278
12	1000	92.1	9.642	24.3	0.019	3.48	0.361

$f(n, L)$  – the desired function of 2 variables –  $n$  and  $L$ .

Since the view of the regression equation (6) has not been known beforehand, 3 dependencies have been selected for analysis, the most reliable of which have been determined:

– dependence 1:

$$Y = K_1 \cdot f_n(Y) \cdot f_L(Y), \quad (7)$$

where  $K_1$  – a constant coefficient;

$f_n(Y)$  and  $f_L(Y)$  – functions of one variable characterizing the influence of each of the parameters –  $n$  and  $L$  on the value of  $Y$ ;

– dependence 2:

$$Y = K_2 + F_n(Y) + F_L(Y), \quad (8)$$

where  $K_2$  – a constant coefficient;

$F_n(Y)$  and  $F_L(Y)$  – functions of one variable characterizing the influence of  $n$  and  $L$  on the value of  $Y$ ;

– dependence 3 – polynomial of the 2nd order:

$$Y = A_0 + A_1 \cdot n + A_2 \cdot L + A_{11} \cdot n^2 + A_{22} \cdot L^2 + A_{12} \cdot n \cdot L, \quad (9)$$

where  $A_0, A_1, A_2, A_{11}, A_{22}, A_{12}$  – a constant coefficients.

The choice of the given dependences is due to the wide scope of their use, ease of determination, and convenience in analysis and practical use. Therefore, dependence 1 is successfully used in mathematical models to determine the fuel and economic parameters of ICEs, which were constructed based on the results of multivariate experiments [10].

The root mean square (RMS) deviations of the calculated data from the corresponding experimental values, expressed in absolute units with a dimension of  $Y - S_Y$  and in relative units (%) –  $s_Y$ , have been considered as criteria for the accuracy of the studied dependences [11]:

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (Y_{ri} - Y_i)^2}{m \cdot (m - 1)}}, \quad (10)$$

where  $Y_{ri}$  – the value of  $Y$ , which has been determined by the selected regression equation in the  $i$ -th test mode;

$Y_i$  – the experimental value of  $Y$  in the  $i$ -th mode;

$m = 12$  – the number of control modes;

$$s_Y = \frac{S_Y}{Y_a} \cdot 100\%, \quad (11)$$

where  $Y_a$  – the average values of the studied value of  $Y$ , which have been determined as arithmetic average of 12 measurements of  $Y_i$  and are  $\pm 0.052 \text{ g/mn}^3$ ,  $\pm 17.85 \text{ g/h}$  and  $\pm 0.411 \text{ g/kWh}$ , respectively for  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$ .

The coefficients  $K_1$ ,  $K_2$  and the functions  $f_n(Y)$ ,  $f_L(Y)$  and  $F_n(Y)$ ,  $F_L(Y)$  in expressions (7) and (8) have been determined by the method described in [10], and for the coefficients  $A_i$  of the dependence (9) have been calculated using the technique presented in [12] (Table 3, Figure 6, 7).

For each dependence, using the expressions (10) and (11), the values of  $S_Y$  and  $s_Y$  were established (Table 4).

As can be seen from the Table 4, dependencies 1 and 2 do not have sufficient accuracy, since the  $s_Y$  value for them is 29.3 ... 38.6% (with the exception of the  $s_{PT_{mass}}$  value = 14.1% for dependence 2).

For the polynomial dependence 3, the values of  $s_{C_{pt}}$  and  $s_{PT_{mass}}$  are comparable with the average experimental error, and the value of  $s_{PT}$  exceeds it by 1.9 times. Thus, from 3 considered dependences, the most reliable is the dependence 3 – a polynomial model of the 2nd order (9), which allows a fairly accurate estimate of the influence of the parameters  $n$  and  $L$  on the



Table 3  
The calculation results of the coefficients  $K_1$ ,  $K_2$  and  $A_i$  included in dependences (7) – (9)

Quantity	Dependence	Coefficient values									
		$K_1$	$K_2$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_{11}$	$A_{22}$	$A_{12}$		
$C_{pi}$	1	23.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	0.0215	$-8.8 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$4.5 \cdot 10^8$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^6$	-	-
$PT_{mass}$	1	0.072	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-17.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	2.032	$-5.4 \cdot 10^{-3}$	$-1.1 \cdot 10^{-1}$	$9.3 \cdot 10^6$	$4.2 \cdot 10^{-3}$	$-1.1 \cdot 10^4$	-	-
$PT_p$	1	2.752	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-0.41	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	0.947	$-1.1 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$	$6.6 \cdot 10^7$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$-1.2 \cdot 10^5$	-	-

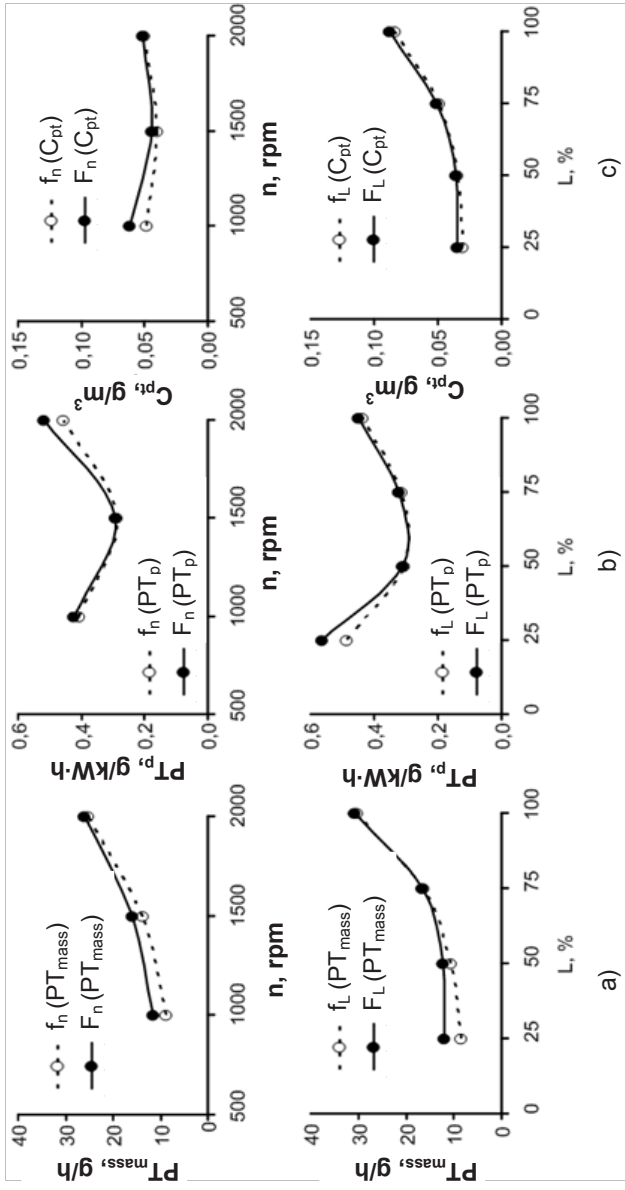


Figure 6. The results of mathematical modeling of the influence of steady-state modes parameters on the content of PM in the EG using dependencies 1 and 2:

a) influence on  $PT_{mass}$ ; b) influence on  $PT_p$ ; c) influence on  $C_{pt}$

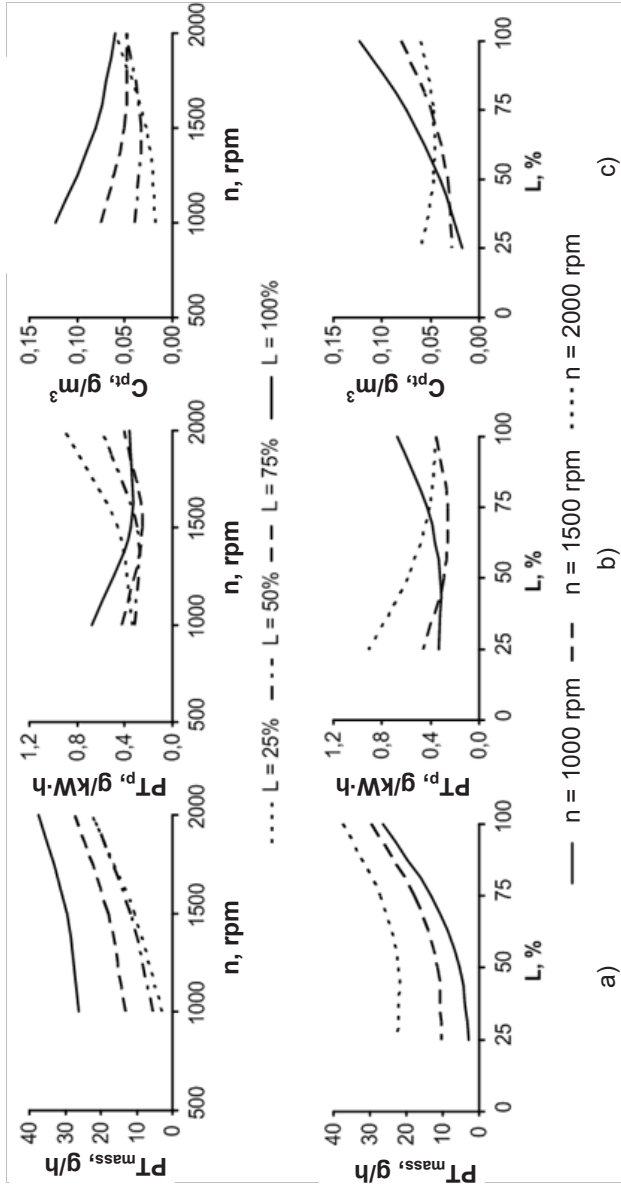


Figure 7. Results of mathematical modeling of the influence of steady-state modes parameters on the content of PM in EG using dependence 3:

a) influence on  $PT_{mass}$ ; b) influence on  $PT_p$ ; c) influence on  $C_{pt}$

**Absolute and relative values RMS of standard deviations of dependencies (7) – (9)**

Dependence	S <sub>Y</sub>			s <sub>Y</sub> , %		
	S <sub>C<sub>pt</sub></sub> , g/mn <sup>3</sup>	S <sub>PT<sub>mass</sub></sub> , g/h	S <sub>PT<sub>p</sub></sub> , g/kWh	s <sub>C<sub>pt</sub></sub>	s <sub>PT<sub>mass</sub></sub>	s <sub>PT<sub>p</sub></sub>
1	0.0181	5.27	0.121	34.7	29.5	29.3
2	0.0176	2.52	0.159	33.7	14.1	38.6
3	0.0042	2.02	0.077	8.1	11.3	18.8

values of C<sub>pt</sub> and PT<sub>mass</sub> and can be used for a rough estimate of the PT<sub>p</sub> value.

**Analysis of the research results** shows the following (see. Figure 7):

a) the influence operating mode of the diesel on the PM concentration:

– the value of C<sub>pt</sub> with increasing n from 1000 to 2000 min<sup>-1</sup> varies depending on the value of the load: at L = 25% it increases from 0.02 g/mn<sup>3</sup> (minimum value) to 0.06 g/mn<sup>3</sup>, at L = 100 % – decreases from 0.12 g/mn<sup>3</sup> (maximum value) to 0.06 g/mn<sup>3</sup>; at the same time with an increase in L from 25 to 100%, the growing dependence of C<sub>pt</sub> on n gradually turns into a downward dependence.

b) the influence operating mode of the diesel on mass emission of PM:

– the value of PT<sub>mass</sub> with increasing n from 1000 to 2000 min<sup>-1</sup> at a fixed value of torque increases with a close to linear dependence with an angular coefficient of 0.015 (g/h)/min<sup>-1</sup>;

– an increase in L from 25 to 60% has little effect on the growth of PT<sub>mass</sub>, but an increase in load in the range of 60 ... 100% leads to a significant increase in PM emission – by 1.7 ... 3.5 times;

– the minimum value of PT<sub>mass</sub> – 3.0 g/h is observed in the mode with n = 1000 min<sup>-1</sup>, L = 25%, the maximum value – 37.4 g/h – in the mode with n = 2000 min<sup>-1</sup>, L = 100 %;

c) the influence mode operation of the diesel on the specific emission of PM:

– the PT<sub>p</sub> value with increasing n from 1000 to 2000 min<sup>-1</sup> changes depending on the load: at L = 25% it increases from 0.34 to 0.91 g/kWh, at L = 100% it decreases from 0, 67 to 0.36 g/kWh; in this case, with an increase in L from 25 to 100%, the growing dependence of PT<sub>p</sub> on n gradually turns into a downward dependence;

– the minimum value of  $PT_p - 0.25 \text{ g/kWh}$  is observed at  $n = 1500 \text{ min}^{-1}$ ,  $L = 75\%$ , the maximum value  $- 0.91 \text{ g/kWh}$  – at  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ ,  $L = 25 \%$ .

**Recommendations for using research results.** Establishing dependencies to reflect the influence of diesel operating mode on the values of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$  can be used both for indirect estimation of their values and for determining the minimum duration of PM sampling in dilution tunnels –  $\tau_{min}$ , at which the accuracy of these measuring systems is ensured [13]. So, when measuring the mass concentration of PM at a steady test mode, the value can be determined by the formula

$$\tau_{min} = \frac{m_{f(min)}}{(c_{pt(a)} - \Delta c_{pt(a)}) \cdot G_{sam(max)}} \cdot q_{min}, \text{ S} \quad (12)$$

where  $m_{f(min)} = 0.25 \text{ mg}$  – the minimum allowable mass of PM particles on the filter;

$c_{pt(a)}$  – the calculated value of the mass concentration of PM in the EG, determined using the established regression dependence,  $\text{g/kg}$ ;

$\Delta c_{pt(a)}$  – the error of indirect determination of  $c_{pt(a)}$ , which is determined by the 2-sigma rule as  $2 \cdot S_{Cpt}$  [14];

$G_{sam(max)} = 2.5 \text{ g/s}$  – the maximum allowable mass consumption samples diluted EG in the tunnel;

$q_{min} = 4$  – the minimum allowable value of the coefficient of dilution of EG.

Formula (12) is obtained on the basis of dependence (1). Similarly, on the basis of dependences (2) – (4), formulas can be established for determining the duration  $\tau_{min}$  when measuring the values  $\tau_{min}$  of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$ .

#### 4. Study of PM content in EG at unsteady diesel modes

In the mathematical models, not only the values of  $n$  and  $L$ , but also the rate of change of these values in time –  $\Delta n/\Delta t$  and  $\Delta L/\Delta t$  are used to indirectly estimate PM emissions from EG in unsteady diesel operating modes with parameters that determine the test mode. Moreover, to improve the convenience of processing and analyzing experimental data, the parameters characterizing the engine operating mode are presented in dimensionless form:

$$\bar{n}_i = \frac{n_i - n_{idle}}{n_{nom} - n_{idle}}, \quad (11)$$

$$\bar{L}_i = \frac{M_{ki}}{M_{k(max)i}}, \quad (12)$$

where  $\bar{n}_i$  and  $n_i$  – the dimensionless and absolute ( $\text{min}^{-1}$ ) value of the number of revolutions of the engine crankshaft in the  $i$ -th test mode, respectively;

$n_{\text{idle}}$  and  $n_{\text{nom}}$  – the number of revolutions of the engine shaft at idle and rated power mode, respectively;

$\bar{L}_i$  та  $L_i$  – dimensionless and absolute (%) value of the load in the  $i$ -th test mode, respectively;

$M_{ki}$  – torque on the motor shaft in  $i$ -th mode;

$M_{k(\text{max})i}$  – the maximum torque on the motor shaft at its rotation speed  $n_i$ .

The results of experimental studies of the PM content in the EG for different diesel operating modes show that for indirect determination of PM concentrations in unstable test modes –  $c_{\text{pt}}^{\text{un}}$  the formula can be used

$$c_{\text{pt}}^{\text{un}} = c_{\text{pt}}^{\text{st}} + \Delta c_{\text{pt}}, \text{ g/kg}, (13)$$

where  $c_{\text{pt}}^{\text{st}}$  – the mass concentration of PM in the EG of the diesel engine at the steady-state test mode, which is characterized by the parameters  $n$  ( $\bar{n}$ ) and  $L$  ( $\bar{L}$ );

$\Delta c_{\text{pt}}$  – the increase in the mass concentration of PM, which occurs during the transition from a constant to an unstable mode of operation of a diesel engine and is characterized by the quantities  $\Delta n/\Delta t$  ( $\Delta \bar{n}/\Delta t$ ) and  $\Delta L/\Delta t$  ( $\Delta \bar{L}/\Delta t$ ).

During tests of the 4ChN12/14 diesel engine using MKT-2 microtunnels, a regression dependence has been established to determine  $\Delta c_{\text{pt}}^{\text{un}}$  when varying the parameters  $n$  and  $L$  in the ranges:  $n = 1250 \dots 2000 \text{ min}^{-1}$  ( $\bar{n} = 0.4 \dots 0.8$ ) and  $L = 30 \dots 100\%$  ( $\bar{L} = 0.3 \dots 1.0$ ) with the duration of unstable modes  $\Delta t = 10 \dots 30 \text{ s}$ . Based on the analysis of experimental data, the type of this dependence has been selected – a polynomial of the first order:

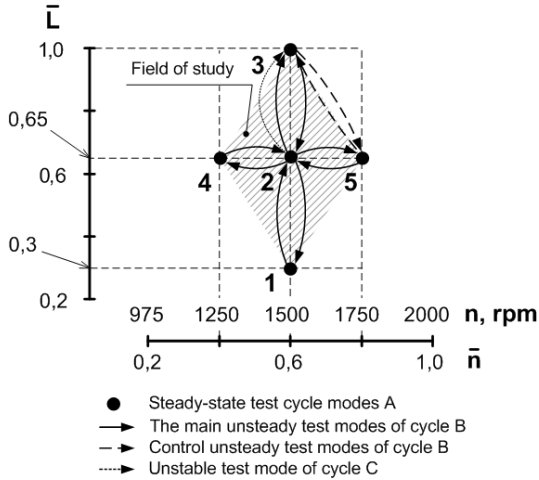
$$\Delta c_{\text{pt}} = K_n \left( \frac{\Delta \bar{n}}{\Delta t} \right) + K_L \left( \frac{\Delta \bar{L}}{\Delta t} \right), \text{ g/kg}, (14)$$

where  $K_n$  та  $K_L$  – the coefficients that have been determined during the experiment;

( $\Delta \bar{n}$ ,  $\Delta \bar{L}$  – relative increments of quantities  $\bar{n}$  and  $\bar{L}$  during the unstable regime.

The procedure for determining the dependence coefficients (14) consisted of 3 test cycles that have been performed sequentially one after another (Figure 8):

**A** – a cycle of 5 steady-state diesel modes;



**Figure 8. The experimental research plan the influence of unstable operating modes of the 4ChN12/14 diesel engine on the content of PM in EG**

**B** – a cycle of 10 unstable diesel operation modes with a duration of  $\Delta t = 21.5 \pm 1$  s; this cycle consists of 4 pairs of main modes with the same values in each pair of one of the values –  $\Delta \bar{n}$  or  $\Delta \bar{L}$  either with a zero value of another value and 2 control modes with different values of  $\Delta \bar{n}$  and  $\Delta \bar{L}$ ;

**C** – a cycle consisting of 3 repeating unsteady modes, in which the values  $\Delta \bar{n}$  and  $\Delta \bar{L}$  have not changes and have been  $\Delta \bar{n} = 0$  and  $\Delta \bar{L} = 0.35$ , and the duration of the  $\Delta t$  regime has changed and took the value of 10, 20, and 30 s.

As a result of the execution of cycle A, the PM concentration values  $c_{pt}^{st}$  have been measured –  $c_{pt}^{st}$  which corresponds to the initial and final values  $\bar{n}$  and  $\bar{L}$  of the parameters and unstable test modes of cycles B and C in the ranges of variation  $\bar{n} = 0.4 \dots 0.8$  and  $\bar{L} = 0.3 \dots 1, 0$ .

As a result of the execution of cycle B in the main test modes, the coefficients have been determined:

–  $K_L$  with an increase in L by 35% ( $\Delta \bar{L} = 0.35$ ) at various initial values of n (modes 1  $\rightarrow$  2 and 2  $\rightarrow$  3);

–  $K_L$  with a decrease in L by 35% ( $\Delta \bar{L} = -0.35$ ) for various initial values of n (modes 3  $\rightarrow$  2 and 2  $\rightarrow$  1);

–  $K_n$  when  $n$  grows by  $250 \text{ min}^{-1}$  ( $\Delta\bar{n} = 0.2$ ) at various initial values of  $L$  (modes  $4 \rightarrow 2$  and  $2 \rightarrow 5$ );

–  $K_n$  when  $n$  decreases by  $250 \text{ min}^{-1}$  ( $\Delta\bar{n} = -0.2$ ) at various initial values of  $L$  (modes  $5 \rightarrow 2$  and  $2 \rightarrow 4$ ).

To determine the coefficients  $K_n$  and  $K_L$ , the formulas have been used:

$$K_n = \frac{\Delta c_{\text{pt(ex)}}}{(\Delta\bar{n} / \Delta t)}, \text{ (g} \cdot \text{c)/kg,} \quad (15)$$

$$K_L = \frac{\Delta c_{\text{pt(ex)}}}{(\Delta\bar{L} / \Delta t)}, \text{ (g} \cdot \text{s)/(kg),} \quad (16)$$

where  $\Delta c_{\text{pt(ex)}}$  – the deviation of the mass concentration of PM determined at the unsteady and corresponding to it steady-state modes of diesel operation; the first value is determined experimentally using MKT-2 and calculated using formula (1), and the second is taken to be equal to the average value of 2 PM concentrations at the steady-state modes, from which the unstable mode begins and ends, and determined during cycle A.

In the course of processing the results of the execution of cycle B, for each pair of the main test modes indicated above, the average value of the coefficient that has been studied,  $K_n$  or  $K_L$ , has been calculated and its RMS has been estimated.

In the control test modes of cycle B (modes  $3 \rightarrow 5$  and  $5 \rightarrow 3$ ), the accuracy of determination of  $c_{\text{pt}}^{\text{un}}$  has been estimated using dependence (13) with simultaneous changes in the parameters  $\Delta\bar{n}$  and  $\Delta\bar{L}$ .

As a result of cycle C, the following values have been determined: the average value of the coefficient  $K_L - K_{L(m)}$  and its RMS –  $S_{K_L}$  with an increase in  $L$  by 35% at  $n = 1500 \text{ min}^{-1}$  (mode  $2 \rightarrow 3$   $\Delta\bar{n} = 0$ ,  $\Delta\bar{L} = 0.35$ ) in the range varying the duration of the unsteady mode  $\Delta t = 10 \dots 30 \text{ s}$ ; in this case, the formula has been used:

$$K_{L(m)} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^n K_{Li}, \quad (17)$$

where  $i$  – the index of the test mode;

$n = 3$  – the number of modes in the test cycle C;

$$S_{K_L} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{L(m)} - K_{Li})^2}{n \cdot (n - 1)}}. \quad (18)$$

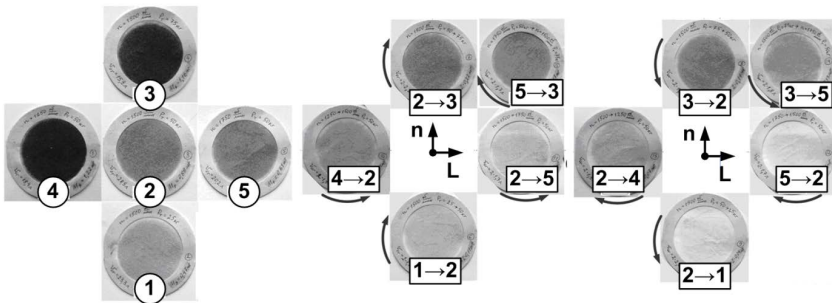


**Research results and their analysis.** During the cycles A, B and C using MKT-2, concentration the PM in the EG at steady –  $c_{pt}^{st}$  and unsteady –  $c_{pt}^{un}$  operating modes of the diesel engine 4ChN12/14 has been determined and the coefficients  $K_n$  and  $K_L$  of the dependence (14) have been established (Tables 5, 6, Figure 9, 10).

Table 5

**Results of studies of  $c_{pt}^{st}$  concentrations during cycle A**

Mode	Parameters mode			Results of measurements and calculations					
	$n$ , $\text{min}^{-1}$ (n)	$M_k$ , $\text{N}\cdot\text{m}$ (L)	$P_e$ , kW	$G_{\text{exh}}$ , kg/h	$q$	$\tau_{\text{sam}}$ , s	$G_{\text{sam}}$ , g/s ( $m_{\text{sam}}$ , g)	$m_p$ , mg	$c_{pt}^{st}$ , g/kg
1	1500 (0.6)	175,7 (0.3)	27.6	403.6	7.13	271.1	0,73 (199.2)	0.47	0.020
2	1500 (0.6)	351,4 (0.65)	55.2	423.3	6.35	301.1	0,74 (220.5)	0.88	0.030
3	1500 (0.6)	527,2 (1.0)	82.8	473.5	6.90	180.9	0,73 (131.9)	1.16	0.073
4	1250 (0.4)	351,4 (0.65)	46.0	332.8	7.01	211.8	0,73 (155.1)	1.22	0.066
5	1750 (0.8)	351,4 (0.65)	64.4	523.8	6.38	211.3	0,73 (154.5)	0.61	0.030



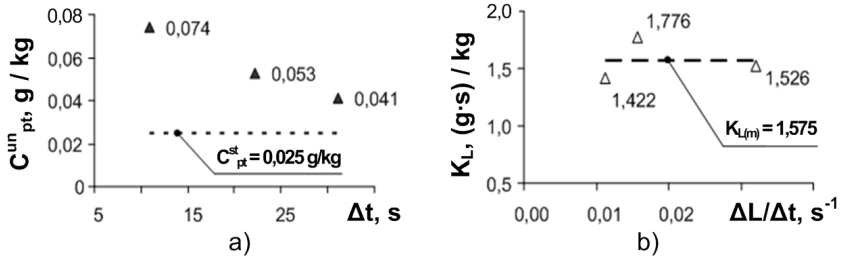
**Figure 9. Photos of filters from PM in the course of testing a 4ChN12/14 diesel engine in cycles A and B**

Table 6

The results of determining the coefficients  $K_n$  and  $K_L$  dependence (14) during the execution of cycle B

Mode	Parameters of unsteady modes				Results of measurements and calculations					
	$\Delta \bar{n}$	$\Delta \bar{L}$	$\Delta t = \tau_{\text{sam}}, \text{ s}$	$P_e, \text{ kW}$	$G_{\text{exb}}, \text{ kg/h}$	$q$	$c_{\text{pt}}^{\text{un}} (c_{\text{pt}}^{\text{st}}) \text{ g/kg}$	$\Delta c_{\text{pt(ex)}}$ , g/kg	$K_n^{**}, \text{ (g·s)/kg}$	$K_L^{**}, \text{ (g·s)/kg}$
1→2	0	0.35	21.09	41.4	413.5	8.43	0.055 (0.025)	0.030	-	1.79
2→3			22.21	69.0	448.4	6.20	0.080 (0.052)	0.028		
3→2	0	-0.35	21.07	69.0	448.4	6.65	0.057 (0.052)	0.005	-	0.00
2→1			21.27	41.4	413.5	6.43	0.020 (0.025)	-0.005		
4→2	0.2	0	21.30	50.6	378.1	6.82	0.058 (0.048)	0.010	0.96	-
2→5			21.33	59.8	473.6	7.81	0.038 (0.030)	0.008		
5→2	-0.2	0	20.83	59.8	473.6	7.47	0.029 (0.030)	-0.001	0.26	-
2→4			21.11	50.6	378.1	9.83	0.054 (0.048)	0.006		
3→5	0.2	-0.35	20.69	73.6	498.7	7.10	0.064 (0.052)	0.012 0.009*	0.96	0
5→3	-0.2	0.35	20.11	73.6	498.7	7.48	0.079 (0.052)	0.027 0.031*	0	1.79

Notes. \* The value of  $\Delta c_{\text{pt(ex)}}$  calculated using the dependence (13); \*\* presents the arithmetic mean values of the coefficients according to the results of 2 measurements.



**Figure 10. The results of studies of the influence of  $\Delta t$  on the PM content in EG during the execution of cycle C:**  
 a) influence on  $\Delta c_{pt}$ ; b) influence on  $K_L$

An analysis of the results of the execution of cycle B shows the following (see Table 6):

- with the growth of one of the values  $\Delta \bar{n}$  or  $\Delta \bar{L}$  with a constant value of another value, the average values of the coefficients  $K_n$  and  $K_L$  are 0.96 and 1.79, respectively; while the absolute and relative deviations of the  $K_n$  and  $K_L$  values of the average values are:  $\pm 0.08$  (g·s)/kg or 8.3% and  $\pm 0.06$  (g·s)/kg or 3.4%, respectively; thus, the load L has a 1.9-fold more significant effect on  $\Delta c_{pt}$  than the number of revolutions of the engine crankshaft  $n$ ;

- when one of the values  $\Delta \bar{n}$  or  $\Delta \bar{L}$  decreases a constant value of another value, the values of the coefficients  $K_n$  and  $K_L$  are not significant and may not be taken into account, since the deviations of the PM concentrations determined in unsteady and steady-state test modes are  $\Delta c_{pt} = 0.005 \dots 0.006$  g/kg, which is comparable with the limit of sensitivity of MKT-2 –  $\pm 0.005$  g/kg;

- the absolute deviations of the calculated values of  $\Delta c_{pt}$  determined using dependence (13) from the experimental data obtained during the execution of 2 control unsteady modes of cycle B are -0.003 g/kg and 0.004 g/kg, which is comparable with the sensitivity limit MKT-2, this confirms the significance of the obtained values of the coefficients  $K_n$  and  $K_L$  and the practical suitability of dependence (13) for estimating  $\Delta c_{pt}$ .

The results of the execution of cycle C showed the following (see Figure 10):

- with an increase in the duration of the unstable regime  $\Delta t$  the differences in the concentrations of PM  $c_{pt}^{un}$  and  $c_{pt}^{st}$  decrease; so, with an increase in  $\Delta t$  from 10 to 30 s, the  $\Delta c_{pt}$  value decreases from 0.049 g/kg to 0.016 g/kg, that is, by 3.1 times;

– in the studied range of variation of  $\Delta t$ , the coefficient  $K_L$  can be considered a constant value, the average value of which is 1.575; while RSM of this value is  $\pm 0.105$  (g·s)/kg or  $\pm 6.7\%$ .

Thus, taking into account the selected type of regression dependence for estimating the  $\Delta c_{pt}$  value and the results of experimental studies, the formula for determining the PM concentration in the EG of a diesel engine under unsteady test conditions is:

$$c_{pt}^{un} = c_{pt}^{st} + 0,96 \cdot \left( \frac{\Delta \bar{n}_+}{\Delta t} \right) + 1,575 \cdot \left( \frac{\Delta \bar{L}_+}{\Delta t} \right), \text{ g/kg}, \quad (19)$$

where  $\Delta \bar{n}_+$ ,  $\Delta \bar{L}_+$  – the positive values of the velocities of the variable in time  $\bar{n}$  and  $\bar{L}$ .

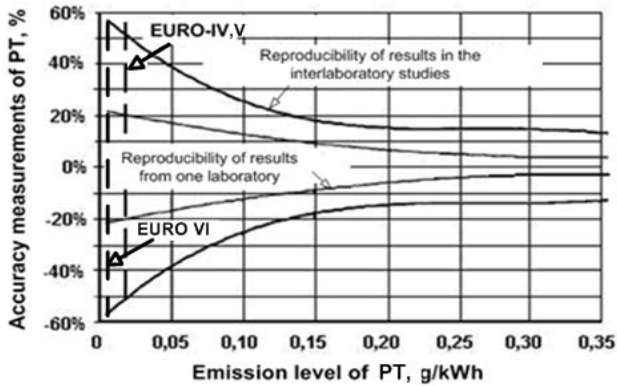
The practical value of formula (19) lies in the fact that it allows one to estimate the content of PM in EG in unsteady diesel operation modes, which are characterized by an unstable period of 10 ... 30 s and ranges of variation of the parameters  $n$ ,  $L$ ,  $\Delta n/\Delta t$  and  $\Delta L/\Delta t$  reduced to a dimensionless form 0.4 ... 0.8, 0.3 ... 1.0, -0.2 ... 0.2 and -0.35 ... 0.35, respectively with errors that are comparable with the errors of the gravimetric measurement system – microtunnels MKT-2.

## 5. Optical-gravimetric method of indirect control of PM content in EG

### Requirements for the accuracy of modern PM control methods.

Gradual reduction in the permissible levels of PM emissions from diesel engines leads to an increase of the resulting error in measurement of the standardized ecological index – an average operating emission of particulate matter PM from EG. Thus, shifting from standard Euro 1 to Euro 6 standards of the specified index for automotive diesel decreased by 72 times – from 0.36 to 0.005 g/kWh, and the resulting uncertainty of its determination accordingly increased: from 3 to 22% (7.3 times) – when conducting research in the same lab; from 12 to 57% (4.8 times) – when research has been conducted in different laboratories (Figure 11) [15].

In order to ensure the required accuracy of determining the mass PM emissions, which are in the range of 0.005 ... 0.02 g/kWh, the modern measurement methods of concentrations PM shall have a sensitivity 2-5 mcg/m<sup>3</sup> [16]. The best known high-precision inspection techniques for PM emissions include: tapered element oscillating microbalance (TEOM) based on compliance with resonant frequency of a trap, which



**Figure 11. Measurement error increase in determining the average operating emission of PM in the conditions of reduction of emission standards for diesel engines EG**

is used to collect the particles with a mass of material that is captured [17]; microbalance with piezoelectric sensing element – quartz crystal, on the faces of which the PM are deposited (Quartz Crystal Microbalance – QCM) [18]; the PT quantitative analysis method using laser-induced EG incandescence (Laser Induced Incandescence – LII), which allows simultaneous measuring of PM mass and number concentration, as well as the sizes of the primary soot particulates – by means of a single instrument [19] and others.

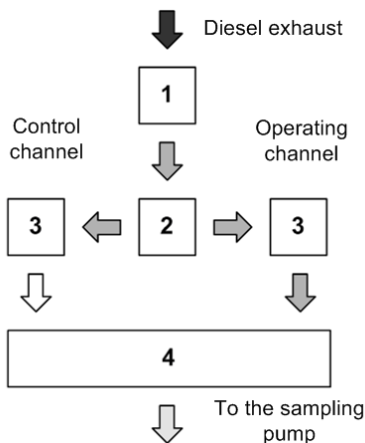
Work on the creation of domestic analogues of modern high-precision methods and equipment for measuring PM emissions from transport and industrial diesel engines is of high relevance. The authors have proposed and investigated an indirect optical-gravimetric method for monitoring PM concentrations and emissions in steady-state diesel operation modes.

**The essence of the optical gravimetric PM control method** is to use the PM capabilities contained in diesel EG to absorb light radiation passing through a stream of a representative gas sample; thus changing the optical density of the sample flow, which has a correlation with the PM concentration [20].

The operating principle of this method is as follows (Figure 12).

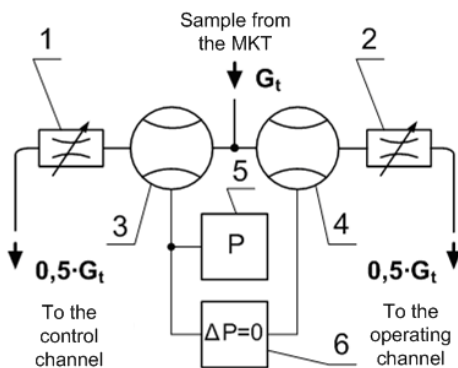
Before analyzing diesel EG, in order to simulate the natural process of their getting into the atmosphere, they are previously diluted with clean air to a temperature not exceeding 52°C, in the sample preparation and calibration system of the PM concentrations optical detector, which is microtunnel MKT-2 (see Figure 3). In a special module (Figure 13), prepared gas sample is divided into two streams with equal mass flow rates, one of which is directed to the reference channel and another – to the working path (channel) of the PM concentration meter. Each of these channels has an electric particulate filter for trapping diesel PM (Figure 14), the filter in comparative channel is being constantly used in the course of taking measurements and the filter in working path being used only when setting zero at the PM concentration detector.

From the two channels, the flows of gas samples (one of which contains the PM) enter the optical PM detector (Figure 15), wherein the corresponding optical densities of flows are determined, and the difference between them being a function from the PM concentration in the diesel EG. Setting this function is performed by calibrating optical PM detector in accordance with the procedure set out below.

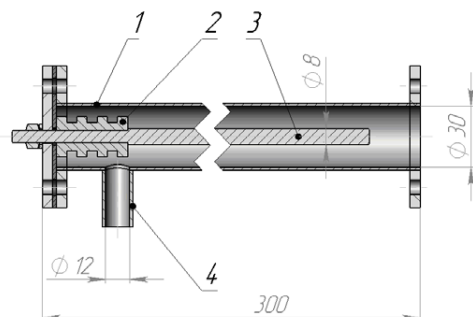


**Figure 12. The principles of the method for optical gravimetric measurements of PM concentrations:**

1 – microtunnel; 2 – sample flow rate distribution module; 3 – electric precipitators; 4 – photoelectric PM detector

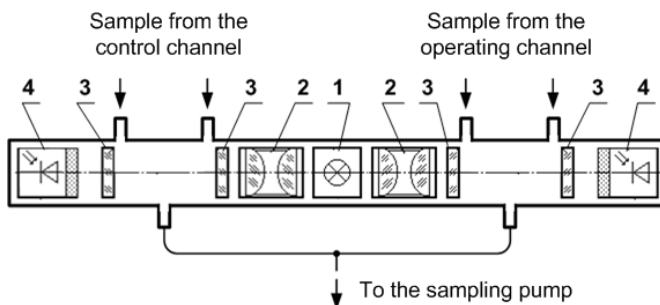


**Figure 13. Schematic diagram of the sample flow rate distribution module:** 1, 2 – sample flow control devices; 3, 4 – flowmeters; 5, 6 – differential pressure transmitters



**Figure 14. Electric filter for PM catching:**

1 – pipeline; 2 – insulator; 3 – metal rod; 4 – connecting pipe



**Figure 15. Schematic diagram of the optical PM detector:**

1 – light source assembly; 2 – a system of optical lenses;  
3 – protective glasses; 4 – light detector with a compensating filter

To implement the described method, a prototype PM meter has been developed, which allows to control the instantaneous values of PM concentrations and emissions:  $c_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$ .

**The method for determining the quantitative characteristics of the PM content in EG of diesel engines** provides for the following algorithm:

1. During tests of a diesel engine on the brake tester equipped with PM meter, the instantaneous values of the following parameters are determined:
  - the number of revolutions of the engine crankshaft –  $n$  ( $\text{min}^{-1}$ ) and torque on engine shaft –  $M_k$  ( $\text{N}\cdot\text{m}$ );
  - load on the motor shaft –  $L$ , which is determined by the formula

$$L = \frac{M_k}{M_{k(\max)}} \cdot 100\%, \quad (20)$$

where  $M_{k(\max)}$  – maximum torque on the motor shaft at the current value  $n$ ;  
 – diesel EG mass flow rate in the exhaust pipe –  $G_{\text{exh}}$  (kg/h);  
 – optical densities of the diluted EG sample streams flowing in the working –  $N_1$  (%) and the control –  $N_0$  (%) channels of the optical PM detector.

2. Instantaneous values of  $n$  and  $L$  determine the mass concentration of PM in diesel EG in the corresponding steady-state operation of the engine:

$$c_{pt} = K_{\text{mode}}(n, L) \cdot Ln \left( 1 - \frac{N_1 - N_0}{100} \right), \text{ g/kg}, \quad (21)$$

where  $K_{\text{mode}}(n, L)$  – proportionality factor that depends on the test mode and it is determined during the calibration of the optical PM detector.

To determine the value of  $C_{pt}^{\text{st}}$ , a type of dependence is chosen based on the MIRA (The Motor Industry Research Association) recommendations by the indirect determination of PM concentrations using the index of EG smokiness [20].

4. The values of the mass and specific emissions of PM from the EG of a diesel engine are determined using dependencies (3) and (4)

**The calibration procedure of the PM optical detector** involves establishing a dependence for determining the coefficient  $K_{\text{mode}}(n, L)$ , which is used in formula (21) for indirect measurement of the value of  $c_{pt}$ . This procedure is a 2-factor experiment, which consists of 4 basic and 3 control measurements; according to its results, the 1st order regression equation with normalized variables is determined (Figure 16):

$$K_{\text{mode}} = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \quad (22)$$

where  $a_0, a_1, a_2$  – constant coefficients,

$$X_1 = \frac{\bar{n} - \bar{n}_{\text{mid}}}{n_{\text{step}}}; \quad X_2 = \frac{\bar{L} - \bar{L}_{\text{mid}}}{L_{\text{step}}} \text{ – normalized variables,}$$

$\bar{n}_{\text{mid}} = 0,8, \bar{L}_{\text{mid}} = 0,75$  – average values of  $\bar{n}$  and  $\bar{L}$  magnitude variation range;

$$\bar{n}_{\text{step}} = 0,2; \quad \bar{L}_{\text{step}} = 0,25 \text{ – steps of changing the values } \bar{n} \text{ and } \bar{L};$$

The coefficients of the regression dependence (22) are determined by the results of the basic tests as follows [21]:

$$a_0 = \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^4 K_{\text{mode}_i} \quad (23)$$



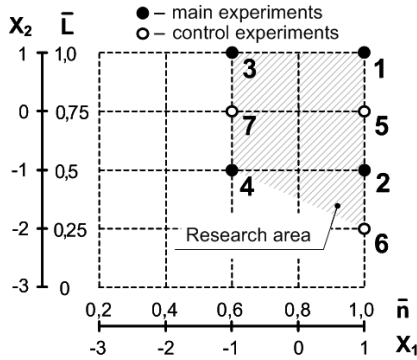


Figure 16. Plan of the two-factor experiment to determine the dependence of  $K_{\text{mode}}(n, L)$  in the scope of study:  $\bar{n} = 0,6 \dots 1,0$ ,  $\bar{L} = 0,25 \dots 1,0$

$$a_1 = \frac{1}{4} \cdot (K_{\text{mode}1} + K_{\text{mode}2} - K_{\text{mode}3} - K_{\text{mode}4}); \quad (24)$$

$$a_2 = \frac{1}{4} \cdot (K_{\text{mode}1} - K_{\text{mode}2} + K_{\text{mode}3} - K_{\text{mode}4}), \quad (25)$$

where  $i=1 \dots 4$  – an index of the basic test;

$K_{\text{mode}i}$  – experimentally determined value of the coefficient  $K_{\text{mode}}$  in the  $i$ -th test:

$$K_{\text{mode}i} = \frac{c_{\text{pt}i}^{\text{exp}}}{\text{Ln}(1 - \Delta N_i / 100)^{-1}}, \quad (26)$$

where  $c_{\text{pt}i}^{\text{exp}}$  – PM concentration, which is measured using MKT-2 in the  $i$ -th test, g/kg;

$\Delta N_i$  – the difference of the optical densities of the sample flows in the working and control channels of the optical PT detector in the  $i$ -th test, %.

**Calibration results of the PM optical detector.** On the basis of the experimental setup described above for the study of PM content in EG in accordance with the presented test procedure, a 2-factor experiment has been conducted. The results are shown in Table 7.

Based on the results of basic tests 1-4 using formulas (23) – (25), the coefficients of the regression dependence – polynomial of the 1st order are determined (22):  $a_0 = 0.334$ ,  $a_1 = -0,017$ ,  $a_2 = -0.068$ .

Table 7  
The results of experimental research of the regression dependence  $K_{mode}(n, L)$

No of exp	Parameters of steady-state test modes				The results of measurements and calculations							
	n, min <sup>-1</sup> (n̄)	X <sub>1</sub>	M <sub>to</sub> N·m (L)	X <sub>2</sub>	P <sub>e</sub> , kW	G <sub>exp</sub> , kg/h	q	ΔN, %	c <sub>int</sub> <sup>exp</sup> , g/kg	K <sub>mode</sub>	c <sub>pt</sub> <sup>exp</sup> , g/kg δc <sub>pt</sub> , %	
1	2000 (1)	1	478.0 (1)	1	100.1	712.0	4.29	5.52	0.058	0.2157	0.009 (15.9)	
2	2000 (1)	1	239.0 (0,5)	-1	50.0	570.7	3.97	2.52	0.044	0.4175	-0.004 (-8.0)	
3	1500 (0,6)	-1	541.2 (1)	1	85.0	483.3	4.49	3.79	0.059	0.3164	-0.006 (-10.5)	
4	1500 (0,6)	-1	274.1 (0,5)	-1	43.1	387.2	4.28	1.21	0.021	0.3853	0.001 (5.9)	
5	2000 (1)	1	351 (0,75)	0	73.6	652.9	4.49	3.26	0.055	0.3166*	-0.005 (-8.9)	
6	2000 (1)	1	119.5 (0,25)	-2	25.0	488.1	4.23	4.46	0.087	0.4520*	0.007 (8.6)	
7	1500 (0,6)	-1	407.7 (0,75)	0	64.0	363.7	4.44	1.91	0.036	0.3509*	-0.005 (-13.6)	

Note: \* – calculated values of the coefficient  $K_{mode}$ .

Thus, for determining the concentration of PM in EG on steady-state modes of the diesel engine, the dependence is as follows:

– with normalized variables  $X_1$  and  $X_2$ :

$$c_{pt}^{st} = (0.334 - 0,017 \cdot X_1 - 0.068 \cdot X_2) \cdot Ln(1 - \Delta N/100)^{-1}; \quad (27)$$

– with dimensionless variables  $\bar{n}$  and  $\bar{L}$ :

$$c_{pt}^{st} = (0.606 - 0.085 \cdot \bar{n} - 0.272 \cdot \bar{L}) \cdot Ln(1 - \Delta N/100)^{-1} \quad (28)$$

Based on the results of control experiments 5–7, the absolute  $\Delta c_{pt}$ , the relative  $\delta c_{pt}$  and the standard deviations of the calculated values of  $c_{pt}$  (obtained using dependence (28)) from the experimental data –  $S_{c_{pt}}$  have been determined. The calculation results –  $\Delta c_{pt} = -0.005..0.007$  g/kg,  $\delta c_{pt} = -9 \dots 13\%$ ,  $S_{c_{pt}} = \pm 0.006$  g/kg are comparable with the accuracy characteristics of microtunnels MKT-2.

Thus, the results of the experiment have shown satisfactory accuracy and practical suitability of the optical-gravimetric method proposed by the authors for indirect control of the PM content in EG diesel engine under steady-state modes in the ranges of parameters  $\bar{n}$  and  $\bar{L}$ : 0.6 ... 1.0 and 0.25 ... 1.0, respectively.

## 6. Conclusions

1. On the basis of the motor stand of a 4ChN12/14 autotractor diesel equipped with a partial-flow system of dilution of EG with air – microtunnels MKT-2, mathematical modeling of the influence of engine operating conditions on the content in the exhaust gas of hazardous pollutant – PM – has been carried out. There has been researched the influence of the parameters of steady-state modes – the number of revolutions of the crankshaft –  $n$  and the load –  $L$  and the parameters of unstable modes – the values of  $n$ ,  $L$  and the rates of their change in time –  $\Delta n/\Delta t$  and  $\Delta L/\Delta t$  on the mass and volume concentrations –  $c_{pt}$  and  $C_{pt}$ , mass –  $PT_{mass}$  and specific –  $PT_p$  emissions PM. Control PM emissions have been by the gravimetric method in accordance with the requirements of regulatory documents – ISO8178 standard, UNECE Rules R-49, R-96, etc. with errors of  $\pm 3 \dots 10\%$ . Established during the research, the mathematical models form the basis of an economical and easy-to-use calculation method for controlling the PM content in the EG at constant and unstable diesel operation modes.

2. As a result of studies of concentrations and emissions PM at steady-state diesel operation modes, the type has been selected and the coefficients

of the most reliable regression dependence have been determined – a second-order polynomial model, which allows us to estimate the values of  $C_{pt}$ ,  $PT_{mass}$  and  $PT_p$  in the ranges of variation of the parameters  $n$  and  $L$  – 1000 ... 2000  $\text{min}^{-1}$  and 25 ... 100%. The RSM of the established dependencies when determining the indicated values is comparable with the errors of microtunnels MKT-2 and is  $\pm 0.0042 \text{ g/mn}^3$ ,  $\pm 2.02 \text{ g/h}$ ,  $\pm 0.077 \text{ g/(kWh)}$ .

3. A dependence has been established for indirectly determining the mass concentrations of PM in the EG at unsteady diesel operating modes, which are characterized by a duration of 10 ... 30 s and ranges of variation of the parameters  $n$ ,  $L$ ,  $\Delta n/\Delta t$  and  $\Delta L/\Delta t$ , given in dimensionless form: 0.4 ... 0.8, 0.3 ... 1.0, -0.2 ... 0.2 and -0.35 ... 0.35, respectively. The deviation of the calculated and experimental data when using this dependence is  $\pm 0.005$  ... 0.006 g/kg, which is comparable with the sensitivity limit of MKT-2.

4. An indirect optical gravimetric method for controlling PM concentrations and emissions at steady-state diesel engine operating modes has been proposed and studied. This method provides for the establishment and use of a regression dependence for determining the mass concentration of PM –  $c_{pt}$  by the optical opacity (smoke) EG diesel engine. A satisfactory accuracy comparable with the accuracy of MKT-2 microtunnels and the practical suitability of the proposed method for controlling the PM content in EG with varying parameters and in the ranges of 1000 ... 2000  $\text{min}^{-1}$  and 25 ... 100%, respectively, are experimentally confirmed. The absolute and relative errors in determining the value of  $c_{pt}$  using this method have been -0.005..0.007 g/kg or -9 ... 13%, respectively.

### References:

1. Zvonov, V. A. (2004). *Ekologiya avtomobil'nykh dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Ecology of automobile internal combustion engines]. Lugansk: VNU named after V. Dahl, 268 p. (in Russian)
2. Bielaczyc, P., & Woodburn Szczotka, J. (2016). Exhaust Emissions of Gaseous and Solid Pollutants Measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Driving Cycles. *SAE Technical Paper*, 2016-01-1008, 13 .
3. Foote, E., Maricq, M., Sherman, M., Carpenter, D. et al. (2013). Evaluation of Partial Flow Dilution Methodology for Light Duty Particulate Mass Measurement. *SAE Technical Paper*, 2013-01-1567, 10.
4. Littera, D., Cozzolini, A., Besch M., Velardi, M. et al. (2013). Comparison of Particulate Matter Emissions from Different Aftertreatment Technologies in a Wind Tunnel. *SAE Technical Paper*, 2013-24-0175, 17.
5. Alkidas, A. C. (1984). Relationship Between Smoke Measurements and Particulate Measurements. *SAE Technical Paper*. 840412, 316–322.

6. Kuharenok, G. M. (2016). Otsenka sodержaniya dispersnykh chastits v otrabotavshikh gazakh dizel'nykh dvigateley [Estimation of the content of dispersed particles in the exhaust gases of diesel engines]. *Science and technology*, vol. 15, no. 5, pp. 371–379. (in Russian)
7. Kittelson, D., & Kraft, M. (2015). Particle Formation and Models. *Encyclopedia of Automotive Engineering*, no. 1(23), pp. 107–130.
8. Muntean, G. G. (1999). A Theoretical Model for the Correlation of Smoke Number to Dry Particulate Concentration in Diesel Exhaust. *SAE Technical Paper*. 1999-01-0515, 316–322.
9. Polivyanchuk, A., Kaslin, O., & Skuridina, E. (2018). Effectiveness evaluation of the measuring system with a microtunnel MKT-2 for ecological diagnosis of diesel locomotives. *Internal combustion engines*, no. 2, pp. 72–76.
10. Schenk, H. (1972). Teoriya inzhenernogo eksperimenta [Theory of Engineering Experiment]. Moscow: «Peace», 382 p. (in Russian)
11. Novitsky, P., & Zograph, I. (1985). Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy [Estimation of errors of measurement results]. St.-P.: Energoatomizdat, 248 p. (in Russian)
12. Zazhigaev, L. S., Kishyan, A. A., & Romanikov, Y. I. (1978). Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov fizicheskogo eksperimenta [Methods of planning and processing the results of a physical experiment]. Moscow: Atomizdat, 232 p.
13. Polyvyanchuk, A. P. (2019). Ocinka ekonomichnoji efektyvnosti sposobu pryskorenogho vymiru vykydiv tverdykh chastynok z vidpracjovanymy ghasamy teplovoziv [Evaluation of economic efficiency of the method of accelerated measurement of particulate emissions from exhaust gases of diesel locomotives]. *Municipal utilities. Series: Economic Sciences*, no. 4(150), pp. 35–39. (in Ukrainian)
14. Afanasyev, V. A. (2017). Probability Theory: Student for Universities. Moscow: Vidos, 352 p. (in Russian)
15. Burtscher, H. (2001). Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines. Done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL/GRPE. *Fachhochschule Aargau, University of Applied Science, Windisch, Switzerland*, 45 p.
16. Anderson, J. D. (2003). UK Particle Measurement Programme. Phase 2. Heavy Duty Methodology Development. Final Report. *Ricardo Consulting Engineers Ltd*, 222 p.
17. Seito, K., & Shinozaki, O. (1990). The measurement of diesel particulate emissions with tapered element oscillating microbalance and an opacimeter. *SAE Technical Paper*. 900644, 1–5.
18. Abe, T., Sato, T., & Hayashida, M. (1989). Particulate matter emission characteristics under transient pattern driving. *SAE Technical Paper*. 890468, 151–163.
19. Schraml, S., Will, S., & Leipertz, A. (1999). Simultaneous measurement of soot mass concentration and primary particle size in the exhaust of DI diesel engine by time-resolved laser-induced incandescence (TIRE-LII). *SAE Technical Paper*, 1999-01-0146, 8.
20. Hardenberg, H., & Albrecht, H. (1987). Grenzen der Rubmassbestimmung aus optischen Transmessungen. *MTZ: Motortechn*, no. 48, vol. 2, pp. 51–54.
21. Adler, Y. P., Markova, E. V., & Granovsky, Y. V. (1976). Planirovaniya jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij [Planning an experiment when searching for optimal channels]. Moscow: «Science», 280 p. (in Russian)

**THE MAIN DETERMINING FACTORS AND METHODS  
OF FORMING AND DEVELOPING EFFECTIVE INDUSTRIAL  
SOCIAL ORGANIZATION**

**ОСНОВНІ ВИЗНАЧАЛЬНІ ФАКТОРИ І МЕТОДИ  
ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТКУ ЕФЕКТИВНИХ  
ВИРОБНИЧИХ СОЦІАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ**

**Volodymyr Savenko<sup>1</sup>**

**Serhii Palchyk<sup>2</sup>**

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-57>

**Abstract.** Evaluation of the effectiveness of the operation of any management system and its compliance with modern requirements should have a generalized criterion, the required number of effective tools for measuring and regulating processes. Such a criterion is needed to analyze the optimality of this system and predict the direction of its modification.

In cybernetics, the level of organization or disorganization of the control system is characterized by the term «entropy». In construction, the term «entropy» is used as a measure of the organization of individual construction processes and the organization of construction, including the work of subcontractors, the provision of materials and structures, construction equipment, etc. Unfortunately, weather statistics are not taken into account in calendar planning. And this factor significantly affects production processes.

The worse the controlled system, the greater its entropy. That is, the increase in entropy indicates a decrease in the level of controllability of the system due to poor organization and coordination of construction processes, violation of schedules for supplies of materials and structures, subcontractors and construction machines, inaccuracy of information, etc.

---

<sup>1</sup> Ph.D, Doctor of Technical Sciences (RF),  
Doctor of Civil Engineering ABU, Professor,  
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

<sup>2</sup> Postgraduate Student,  
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

However, the management of the production construction organization is a man-machine system in which the final decisions are made by managers at the appropriate level. Therefore, the measure of «entropy» of such a system cannot be calculated mathematically accurately, but it is necessary to predict and plan. Today, the term «entropy» can be used as a theoretical measure for the analysis and design of human-machine systems.

The lack of the possibility of accurate formalization of the general criterion of the functioning of the system indicates that any strictly formalized model has less diversity than the system itself. As a result, the management system of the organization, built on the above model, will not perform its functions if it is not built a person as a stochastic but conscious, thinking, controlling element of the methodology of formalized planned calculations. Thus, for the successful operation of any modern production management system, they must include a person as a link that ensures the viability of the entire system and the implementation of the function of self-organization. Namely: Intellectual, psychophysical, qualification, spiritual, ideological, social and other properties of the human leader, human creator, human performer, involved at different levels of the system, are no less important than the properties and parameters used by automated or robotic complexes, machines, mechanisms, tools, all kinds of resources, including time, finance, information, energy, materials, etc., and methods and organizational and technological forms and intellectual schemes and algorithms. Moreover, it is difficult to accurately measure the parameters and mutual influence of factors and elements of the system within the system (organization), especially to determine the magnitude of external forces – international, state laws and norms, social traditions, natural phenomena and space laws. Without a deep study of these conceptual foundations it is difficult to design and even more so to create a perfect model. To create a genome of perfection or a stable perfect model of activity, it is necessary to select people on a scientific basis with the necessary abilities and characters and form effective organizations. Science studies, and history knows, numerous attempts to create effective models for the development of labor collectives and social systems. Experience shows that in the end the staff decides everything.

## 1. Вступ

Відомі спроби створення ідеальних організаційних структур і соціальних систем. Проте і на сьогоднішній день ця тема не висчерпана. Так як і створення вічного двигуна, створення ідеальної соціальної виробничої організації приваблює до себе дослідників різних галузей науки. Нові досягнення науки і техніки дають нові інструменти і нові надії на вдосконалення соціальних виробничих систем. Лосвід і аналіз процесів підказує, що одні й ті самі явища з позицій різних дисциплін науки описується і оцінюється неоднаково. Тому напевно успіх може бути в міждисциплінарному системному підході на діалектичній основі. Усвідомлення стохастичності і ієрархічного характеру існування і взаємодії соціальних виробничих систем допоможе в проведенні реалних достовірних максимально наближених до реальності розрахунків і здійснення факторного моніторингу і аналізу. Виникає необхідність в якомога глибшому і точнішому дослідженні усіх процесів і факторів з використанням найновіших засобів і наукового інструментарію усіх галузей науки і техніки.

Наукові інформаційні програми і комп'ютерні швидкодіючі технічні засоби під керівництвом високоінтелектуальних і духовних людей можуть охопити вимірюваннями величезну кількість параметрів значущих процесів, оцінити їхній вплив на кінцевий запланований результат, на моніторинг усіх процесів і їхнє регулювання. При цьому арсенал інструментів повинен бути більшим, ніж кількість підконтрольних процесів і систем.

Для розвитку систем і організацій вище телеомічного рівня тільки наука і наукові підходи можуть забезпечувати реальний сталий розвиток соціальних наукомістких виробничих систем застосовувати наукомісткі інноваційні технології, а керівники і персонал повинні мати відповідні здібності, освіту, кваліфікацію, підготовку і досвід. А для об'єктивної оцінки кадрів має діяти неупереджений, незалежний державний механізм підготовки і відбору кадрів.

Важливо дослідити і виявити вирішальні впливові фактори функціонування соціальних виробничих систем з позицій різних наук і, користуючись при цьому найбільш досконалими науково-технічними інструментами. Такий шлях і такі спроби були започатковані ще О. О. Богдановим, автором Тектології-загальної організаційної науки.



Продовжуючи діяти в тому ж напрямку. Але вже на значно вищому рівні розвитку науки і техніки можна досягти значного успіху.

## **2. Кібернетичний і синергетичний підхід до управління виробничими економічними системами**

В економічній теорії розроблено різні концепції структурно-функціонального управління. Спільним для них є кібернетичний підхід до управління економічною системою, в якій виокремлюються такі структурні компоненти, як входи та виходи, орган управління, об'єкт управління. На вхід системи подаються матеріальні, трудові, фінансові, енергетичні, інформаційні та інші ресурси. На виході системи дістаємо кінцевий продукт (товари та послуги), що перебуває у функціональній залежності від вхідних параметрів [1]. З погляду кібернетики процес управління складними системами полягає у здійсненні керуючих впливів системи управління на керовані підсистеми для досягнення оптимального функціонування об'єкта в цілому. Оптимальне управління настає за умови, що система перебуває у стійкому стані гомеостатичної рівноваги. У цьому стані вона досягає максимуму своєї ефективності, найбільш продуктивного режиму економічного зростання [2]. Тому головне завдання кібернетичного управління великими економічними системами полягає в пошуку та реалізації таких керуючих впливів, які за наявності зовнішніх і внутрішніх збурень забезпечать гомеостатичний режим функціонування та розвитку системи [3; 4]. Методологія управління економічними об'єктами у своїх загальних положеннях ґрунтується на системних принципах теорії автоматичного регулювання. Автоматичне управління (авторегуляція) є способом само-організації, який характеризується здатністю складних систем відновлювати та зберігати нормальний функціональний стан чи самостійно вибирати новий, більш бажаний стан та переходити в нього [5]. Авторегуляція приводить до підвищення організованості нерівноважних систем у результаті вибору оптимальних станів на шляху до свого вдосконалення. Це наочно виявляється в живих системах управління, в яких зростання стійкості та адаптованості до зовнішнього середовища відбувається за рахунок гомеостатичних механізмів і нерозривно пов'язане зі зростанням їхньої організованості, зі зниженням ентропії [6]. На відміну від кібернетичного підходу

в синергетиці вважається, що визначальною умовою для забезпечення оптимального поведіння складних економічних систем є саме наявність нерівноважних станів та процесів самоорганізації [7]. Нерівновага дає змогу здійснювати вільний вибір варіанта подальшого розвитку з цілого спектра можливих напрямків. Якщо рівноважний стан є необхідною умовою для стаціонарного існування економічних систем, то нерівноважний стан являє собою момент переходу до якісно нового стану, в якому економічна система може здобути більш високий рівень організації та продуктивності і навпаки.

Коли економічна система втрачає функціональну стійкість, виникають самоорганізаційні процеси формування нових ефективних структур. В нових умовах функціонування економічна система проходить свої рівноважні стани як проміжні етапи на траєкторіях нерівноважної самоорганізації. Ідеться про те, що в періоди нестабільності можуть спонтанно виникати паралельні неформальні структури, наприклад відпрацьовані схеми ухилення від податків, спрямування фінансових потоків в офшорні зони, неплатежі постачальникам, бартерні схеми розрахунків, виплати заробітної платні «чорною» готівкою тощо. За певних умов вони можуть бути досить стійкими, що свідчить про стихійний вихід системи на неоптимальну щодо економічної ефективності траєкторію розвитку. Замість прогресу може бути при наявних умовах і регрес [4]. З погляду синергетики неефективне управління соціально-економічними системами полягає в нав'язуванні системі такого поведіння, яке їй не властиве. Згідно із синергетичною концепцією більш ефективним буде так зване, «м'яке» управління, на відміну від «жорсткого», програмного. М'яке управління – це управління за допомогою незначних, але належних резонансних впливів, які мають відповідати власним внутрішнім тенденціям розвитку системи. Головна мета такого управління полягає в тому, щоб завдяки незначному резонансному впливу «підштовхнути систему» до одного із її власних сприятливих шляхів розвитку. Своєчасні резонансні впливи можуть виявити значні, потужні внутрішні резерви системи. Синергетичне управління базується на таких положеннях: існують спектри можливих майбутніх станів, і тому завдання управління полягає у виборі найкращого з доступних варіантів; хоча шляхів розвитку може бути багато, але їх кількість скінченна; у процесі управління необ-

хідно враховувати не тільки стан зовнішнього середовища, а й власні тенденції еволюції системи; головним є не сила, інтенсивність, тривалість управлінського впливу, а його правильна топологія просторова та часова і узгодженість із власними тенденціями розвитку системи. Синергетичний підхід до управління орієнтований на пізнання закономірностей самої системи та процесів її самоорганізації. Незначний, але погоджений резонансний вплив в точках біфуркації може призвести до суттєвих змін у траєкторії руху і поведженні системи. Для відслідковування таких точок і моментів дії потрібно щось більше, ніж знання. Синтез знань, підготовки і досвіду – це більше, ніж сума окремих складових, Цей дуже важливий синтетичний продукт інтелекту явно недооцінюється. Якщо іти ще далі, то теж очевидно, що не кожному він дає однакові можливості. Різні здібності приносять різні результати, тут, як кажуть має місце втручання Вищих сил і законів, які багато в чому невідомі людям і може так бути до кінця їх пізнати і не дано. Тому відбір кадрів відповідних здібностей, за умови підтримки і оволодіння синтезом знань, підготовки і досвіду, вирішують все.

### **3. Оптимізація підбору кадрів для конкретних видів діяльності [5]**

Питання підбору кадрів завжди було найважливішим чинником формування будь-якої організації в усі часи. Більшість фахівців з персонал-менеджменту вважають першу співбесіду найважливішим і найважчим елементом прийому нового працівника в організацію. Багато вітчизняних менеджерів займаються підбором кадрів без спеціальної підготовки, не володіючи необхідною – компетентністю в даному питанні. Практика найму спеціалістів на вітчизняному ринку показує, що аналіз даних потенціального – претендента на вакантне місце зводиться до вивчення анкети. Найбільш поширеною формою викладу відомостей про кандидата є резюме, Здобувач заповнює набір стандартних формулювань про освіту, кваліфікацію, досвід, просування по службі і супутні навички, уміння, інтереси, хоббі і т. д. Перевірити достовірність інформації, що повідомляється формально, до прийому на роботу можливо по документах. Але практично важливі риси особистості, на які не видають довідок без спеціального тестування чи випробувань в реальних умовах визначити без фахівців чи керівни-

ків тих підрозділів, куди має направлятись майбутній співробітник чи партнер визначити неможливо. Наявність кваліфікації, комунікативних здібностей, лідерських і виконавських якостей і багато інших нюансів, залишають потенціал працівника нез'ясованим – це стане відомо пізніше. Невідповідність очікуваного і отриманого має місце у більшості роботодавців, які використовують традиційні формалістичні підходи в своїй кадровій політиці, Виникає питання: міняти цю політику на більш прогресивну або втрачати час і гроші на звільнення некомпетентних людей і набір нових з ризиком повтору попередніх помилок. Досвід показує, що на ринку праці існує чотири найбільш поширених способи відбору кадрів: «з вулиці», через кадрові агенції, через «своїх» людей, за допомогою психолога-консультанта (штатного або запрошеного).

Перший спосіб практикує більшість держпідприємств і організацій, які використовують малокваліфіковану працю, яка не характеризується престижністю, перспективністю і високими заробітками. При цьому способом головним інструментом роботодавця є «випробувані» формальні анкетні методи і така ж формальна співбесіда. В якості представника роботодавця виступає кадровик, який розбирається краще з паперами, ніж з людьми.

До другого способу все частіше вдаються підприємства і організації «середніх можливостей», які не можуть дозволити собі «розкіш» мати штатного психолога. Тому процедура відбору в таких агенствах при всій рекламованій ними професійності має виражену тенденцію до формалізації. З цієї ж причини в кадрових службах компетентний психолог-діагност – в лика рідкість. Третій спосіб є основним інструментом формування кланових – організаційних структур, в яких сполучну і мотивуючу роль покликані відігравати відносини спорідненого чи дружнього характеру. Такий характер відносин передбачає в якості головної цінності працівника його особисту відданість роботодавцю, яка повинна поширюватися на всю фірму. Організації, створені за клановим принципом, можуть бути різного ступеня «вагомості» на ринку і різної орієнтації, Однак орієнтація на «своїх» людей буває непродуктивною зниженням професійного рівня, слабкими можливостями системи індивідуального контролю і санкцій. Наслідком таких відносин є слабка мотивація співробітників до саморозвитку і відносна закри-

тість організації, яка б знизила інтенсивність інформаційного обміну і швидкість адаптації при мінливій ситуації на ринку. Четвертий спосіб відбору кадрів характерний для організацій, які намагаються працювати за прикладом передових західних фірм або є спільними підприємствами, в яких координація кадрової політики відбувається з ініціативи іноземного співвласника. У таких випадках нові співробітники набираються за допомогою кваліфікованих психологів, які часто грають роль радників-консультантів перших осіб підприємства. Застосовуються передові психологічні технології, що позитивно зарекомендували себе в Україні і за кордоном. Соціологічні дослідження показують, що в умовному рейтингу різних способів кадрового відбору перше місце займає третій спосіб. Пояснення цьому феномену знаходиться не стільки в його ефективності, скільки в особливостях національного менталітету. Одна з відмінних якостей цього менталітету – переважання в національному характері середнього українця емоційної компоненти над логічною (розумовою), коли особисті відносини стоять вище ділового об'єктивного підходу. Друге місце займає принцип «вуличного» підбору як найбільш простого і дешевого. Але це неефективні способи роботи з потенційними працівниками. На третьому місці – прийом на роботу через кадрові агентства. Це досить перспективний напрямок при умові його оптимізації.

На четвертому місці той спосіб, який має бути першим. Вся складність в тому, що масова свідомість не підготовлена до того, щоб працювати професійно в тому числі в галузі персонал-менеджменту. Тим часом у розвинених країнах в психології управління, управлінського консультування і менеджменту накопичено значний досвід відбору персоналу з використанням психологічної діагностики як ефективний метод професійної селекції. На жаль, некомпетентність призводить до ігнорування багатого інформаційного ресурсу. До числа розробників поширених в цивілізованому світі методик слід віднести таких відомих вчених і фахівців; А. Піза («Мова жестів»), М. Арджайл («Мова погляду»), Е. Кречмера («Будова тіла і характер»), Д. Ніренберга, І. Г. Калеро («Вчіться читати людину, як книгу»), У. Шелдона («Аналіз конституційних відмінностей») і ряд інших [9].

Соціоніка також виросла на основі типології характерів. Її засновниця А. Аугустінавічюте слідувала традиціям західних типоло-

гів (К. Юнга, З. Фрейда і ін.). При розробці своїх характерологічних описів 16 типів візуальної діагностики, належить до неформальних методів оцінки ділових якостей особистості, Соціоніка здатна синтезувати більшість відомих діагностичних методів для вирішення проблем підбору і формування професійних груп. Співбесіда побудована за принципом журналістського інтерв'ю, включає в себе дві процедури: вербальну (словесну) і невербальну, спостережну, засновану на аналізі зовнішніх даних людини-анатомічних, характер мимики, жестів, манери одягатися, використовувати різні аксесуари і т. д. Досвідчений фахівець-типології звертає увагу на безліч нюансів, з яких складається процес комунікації. При співбесіді важливо зіставляти форму подачі інформації з характером її змісту. Іншими словами – інформативно і те, про що повідомляє особа, і те, як вона це робить. Однаково важливо як виклад фактів, так і інтонації, мимики і жести, якими спілкування супроводжується. Наприклад: логік (людина з переважанням мислительного типу світосприйняття глибоко відчуває, тобто об'єктивно-оцінює людину) акцентує увагу співрозмовника на кількісних і якісних показниках обговорюваного об'єкта, а етик (чуттєвий тип особистості, суб'єктивно-оцінюючий людину), навпаки, – перш за все підкреслює своє позитивне або негативне ставлення до об'єкта чи явища. Особистість сенсорного типу (конкретно відчуває і оцінює реальність людини) демонструє прагматизм і увагу до деталей. Така людина скоріше може знайти способи для реалізації задуманого, шляхи і можливості. Це хороший тактик знає, як зробити ту чи іншу справу. Людина, яка має інтуїтивний тип характеру, володіє хорошим абстрактно образним мисленням і здібностями до асоціацій. Він хороший стратег, знає, що робити, бо добре висвітлює проблему взагалі і ставить нові цілі і завдання. Він більше цікавиться можливостями і перспективами, ніж конкретними, перевіреними практикою технологіями. Людина з раціональним типом характеру, не любить міняти свої плани і переконання, досить консервативна в своїх поглядах і звичках, залежить від своїх усталених принципів і установок. Ірраціональна за характером світосприйняття людина – більш спонтанна, швидше і легше орієнтується по ходу ситуації, ніж по заздалегідь продуманих планах. Він менше залежить від своїх звичок, має імпульсивний характер з різкими підйомами і спадами настрою, самопочуття і ділової активності. Екстра-

верт по типу світосприйняття (людина, зорієнтована більше на зовнішній світ і добре в ньому орієнтується) більш демонстративний – в спілкуванні і відкритий для співрозмовника. Він схильний повідомляти більше інформації, ніж необхідно, бо прагне бути корисним всім і викликати загальне схвалення. Інтроверт – людина, зорієнтована більше на свій внутрішній світ. Для нього власна думка важливіше думки інших людей, тому він не прагне до визнання. Він видає лише мінімум необхідної інформації і не схильний проявляти або перехоплювати ініціативу як в справах, так і в бесіді, не прагне до лідерства. Відповідаючи на питання психолога, респондент розкриває багатогранність, яку не завжди можливо описати лише сукупністю перелічених раніше ознак: раціональність-іраціональність, екстраверсія-інтроверсія, логіка-етика, сенсорика-інтуїція. Особливості біоритмів властиві кожній людині від народження, наділяють його такими якостями працездатності, які добре пояснюються шкалою «термінально-ініціальний». Дихотомія «термінально-Ініціальний» була запропонована для розуміння механізму утворення підтипу або варіанту типу особистості. Кожен з 16 типів особистості має два варіанти властивих їм ритмів включення людини в діяльність. Термінальний тип поведінки людини характеризується деякою «розкачкою» і поступовим включенням в діяльність з нарощуванням темпу і максимальною продуктивністю в кінці процесу. Ці люди «сови» в роботі. Їм легше доводити до кінця справу, ніж її починати.

Ініціальний тип протилежний за своїм проявом і характеризується різким, без попередньої підготовки, включенням в діяльність і поступовим зниженням продуктивності до моменту завершення процесу або навіть перериванням його з прагненням «передати естафету» іншим. Це – «жайворонки» в роботі. Їм легше що-небудь починати, ніж закінчувати. Дослідження показали, що яскраво виражені термінальні підтипи за своїми природними біоритмами частіше відносяться до «сов» тому, що у вечірньо-нічний час доби, мають в своєму характері переважання спокійних, інертних темпераментів – флегматичного і меланхолійного. Ініціальні варіанти типів особистості відносяться до «жайворонків», бо народилися в денний чи ранковий час і мають відносне переважання живих, активних темпераментів – холеричного і сангвінічного. У «голубів» (проміжний тип) описані ознаки зазвичай

збалансований характер або одна з ознак має дуже незначну перевагу. Це люди з відносно збалансованими темпераментами або ті, хто народився в перехідні періоди доби. Для керівника останні характеристики допомагають встановити, який працівник буде більш ефективний у другій половині дня і в нічну зміну. У більшості розвинених країн на підбір кадрів витрачається достатньо часу, щоб звести помилки при прийомі на роботу до мінімуму. При переході вітчизняної економіки на ринкові відносини перевага буде у тих організацій, які зосередять у себе кращі людські ресурси та матимуть найбільш конкурентоспроможні колективи, здатні працювати ефективно і злагоджено, використовуючи передові технології. В тому числі соціонічні, саєнтологічні, психологічні і т. д.

Дещо інший підхід в оцінці станів людини, в оцінці її можливостей і підхід до тестування людей за психофізичним станом дає Л. Рон Хаббард.

#### **4. Використання шкали тонів Р. Хаббарда для оцінки стану персоналу**

Шкала тонів – це дуже важливий інструмент. Його можна використовувати у всіх сферах життя, в яких так чи інакше беруть участь люди. На цій шкалі показані емоційні тони людини. Під тоном розуміється емоційний стан людини. На шкалі в певній послідовності розташовуються емоції, такі як страх, гнів, горе, ентузіазм і інші, які можуть переживати люди. Якщо вміло користуватися цією шкалою, то можна передбачати і розуміти людську поведінку в усіх її проявах. Шкала тонів наглядно показує, як відбувається ковзання по похилій площині від максимальної життєвої сили і свідомості через зменшення цієї сили і свідомості вниз до смерті. Шкала тонів заснована на всіляких розрахунках життєвої енергії, на спостереженнях і випробуваннях Л. Рона Хаббарда. Вона показує рівні поведінки людини в міру того, як у людини стає все менше і менше життя. Ці рівні зустрічаються у всіх людей.

Коли людина близька до смерті, то можна сказати, що вона знаходиться в стані хронічної апатії. І вона поводить себе певним чином по відношенню до інших речей. Це 0, 05 за шкалою тонів.

Коли людина ще не опустився за шкалою тонів до рівня горя, розуміє що над нею нависла загроза втрат, або ж вона застрягла на цьому



рівні в результаті минулих втрат, то можна сказати, що він перебуває в тоні страху. Це в районі 1, 0 на цій шкалі.

Людина, яка бореться з загрозою втрат, знаходиться в гніві. В його поведінці спостерігаються інші особливості. Це – 1,5.

Коли людина тільки підозрює, що втрата може статися, або

– якщо він «застряг» на цьому рівні і обурюється. Можна сказати, що він в антагонізмі. Це 2,0 на цій шкалі. На рівні вище антагонізму стан людини ще недостатньо;

– гарний, щоб відчувати ентузіазм, але і не настільки поганий, щоб відчувати обурення. Людина втратила якісь цілі і в даний момент не може знайти нових. Можна сказати, що вона відчуває нудьгу або знаходиться за шкалою тонів на рівні 2,5.

Рівень 3, 0 на шкалі тонів – це консерватизм. Людина відноситься до життя обережно, не домагається своїх цілей. Рівень 4,0 на шкалі тонів – ентузіазм. Людина щаслива і сповнений життєвих сил.

Лише деякі від природи знаходяться в тоні 4,0. Якщо не підходити над то суворо, можна сказати, що середній тон людей – приблизно 2,8.

Найточніший показник, який дозволяє визначити положення людини на шкалі тонів – це мова. Якщо людина не говорить відкрито і слухає неохоче сприймає сказане, то не можна сказати, що він на дуже високому рівні по шкалі тонів. У Хаббарда для оцінки людини не тільки мова: як говорить але і як слухає. Деякі люди не можуть зрозуміти, що спілкування полягає як з вихідного потоку, так і з вхідного потоку. Спостереження за тим як людина слухає і говорить точно вкаже його положення на шкалі тонів.

Психометрія – це спосіб оцінки розумових здібностей і якостей особистості, а також дослідження розумових пропроцесів. Щоб її провести, необхідно просто почати говорити з людиною у найвищому тоні, до якого тільки можливо творчо і конструктивно піднятися, а потім поступово знижувати тон розмови до того рівня, на якому ця людина відгукється на слова. Людина найкраще відгукнеться на спілкування в його власному діапазоні, і за допомогою розмови людини можна підняти за шкалою тонів приблизно на півтону. при проведенні цього виду «психометрії» не слід продовжувати розмову надто довго ні на одному з рівнів шкали тонів. Досить однієї або двох пропозицій. В іншому випадку розмова може трохи підняти тон людини і порушити точність тесту.

## 5. Еволюція підсистеми управління організації

Організація складається з підсистеми управління і виконавчої (керованої) підсистеми [2; 3]. Структура підсистеми управління залежить від функцій виконавчої підсистеми. Якщо розглядати її окремо без керованої підсистеми, то виникнуть невизначеності з її організацією. Скільки потрібно рівнів управління, яка спеціалізація елементів і т. д. Ці питання доводиться вирішувати при проектуванні. В організаційній практиці. Структура підбирається, як правило, емпірично менеджерами вищої ланки. Однак, незважаючи на відмінності в структурах систем управління завжди існують базові елементи. Такою базою є ієрархічна будова систем. Ієрархія простежується в багатьох природних системах (організми, соціуми і ін.). Будь-які людські спільноти організовані ієрархічно [5; 7].

Ієрархія є принцип побудови організації Ієрархія виникла тому, що людина не може одночасно контролювати і управляти більше, ніж 5-7 підлеглими. А організація може складатися з сотень людей. Тільки ієрархія дозволяє контролювати і управляти безліччю систем і елементів. Раціональність, ефективність, суворота регламентація, розподіл управлінської праці, неусобленість розглядаються як ідеал організаційної діяльності [17]. В ідеальній моделі бюрократії М. Вебера [17] передбачається, що вищий чиновник більш компетентний, ніж чиновник нижнього рівня [7]. Коли дистанція між рівнем прийняття рішення і виконавцем збільшується, єдність і координація можуть бути досягнуті тільки при високому ступені формалізації. Але реальність суперечить цій ідеальній моделі. Формується тип чиновника, який керується в своїй діяльності системою формальних правил, а не приписами шефа. Бюрократія нерідко діє, виходячи зі своїх власних групових інтересів, а не з інтересів тієї організації, якій належить цей апарат.

Бюрократичний апарат побудований на вузькій спеціалізації виконавців. Вузька спеціалізація виконавців створює високий професіоналізм за умови ідеально узгодженої взаємодії. Але бюрократ не автомат.

Неефективність бюрократії пояснюється «принципом Пітера». Якщо початківець бюрократ успішно справляється зі своєю роботою, то його чекає підвищення на посаді. Якщо він знову доводить свою компетентність-він знову отримує підвищення і т. д. Але ось він доходить до ступеня, коли не може домогтися успіхів, тоді він не отри-

мує чергового підвищення, і застряє на цій посаді. Таким чином, усі бюрократичні посади зайняті некомпетентними людьми, які досягли свого «рівня некомпетентності». Підвищення в посаді краще оплачується і є хорошою мотивацією праці. Проблема в тому, що кількість посад різко скорочується по мірі сходження по кар'єрних сходах. Всі верхні сходинки окупають майже довічно раніше піднятими працівниками, має місце відсутність перспективи зростання. Кар'єрне зростання перестає бути мотивацією. Щоб змінити таку ситуацію в пропонується змінити звичайну штатну службову драбину на похилу площину без сходинок тоді заслужені фахівці будуть підлягати ротації по горизонталі, відпрацювавши певний термін на одному місці, набувати нових навичок і кваліфікації на новому місці, звільнивши своє місце для інших. Можливо молодших, чи більш компетентних, менше спочивати на досягнутому і можливо з часом застарілому багажі. Так часто буває, коли старі кадри стають тормозом прогресу.

В даний час ця ідея не дуже популярна з багатьох причин; відсутній правовий механізм справедливої, кваліфікованої ротації кадрів, зайняття посад з політичних чи родинних мотивів і т. д. Ротацію складно здійснювати при вузькій спеціалізації працівників. Підйом вгору вимагає більш широкого світогляду. Принципи оптимального співвідношення спеціалізації і універсалізації в системах управління дозволяє розвивати персонал і можливість його вертикальної і горизонтальної ротації, взаємного заміщення в разі необхідності. Тим самим відбувається накопичення знань і умінь, цінного досвіду і створення передумов появи генома ділової досконалості організації.

Механізм будівництва чи монтажу каркасу будинка характеризується своєю специфікою і в успішних організаціях цим займаються комплексні бригади, де ядром є група універсальних висококваліфікованих спеціалістів, які при необхідності можуть замінити відсутнього спеціаліста, щоб не зупинити виконання того чи іншого процесу (монтаж, бетонування, ел. зварювання і т. д.). В ієрархічних підсистемах управління ступінь спеціалізації збільшується зверху до низу. Найбільш широке і стратегічне коло завдань у топ менеджера. У біологічних системах в ході еволюції зростала як спеціалізація, так і універсалізація. Отже, для еволюції потрібна як спеціалізація, так і універсалізація. Ці функції займають свої ніші в управлінській ієрар-

хії. Тому для того, щоб піднятися на щабель вище, потрібно розширити коло своїх знань. Це правило особливо необхідно враховувати при ротації персоналу по вертикалі. Це головна вимога для ділової кар'єри. Бо формальне підвищення на посаді призводить до парадоксу Пітера, до зростання некомпетентності.

Ротація персоналу – це переміщення співробітника з одного підрозділу компанії в інший, іноді аж до зміни роду діяльності. При переході на іншу посаду співробітник отримує новий досвід, нові знання і вміння, продуктивність роботи зростає, хоча деякий час буде некомфортно. Проте відомо, що розвиток знаходиться за межами нашого комфорту. Ротація персоналу допомагає підготувати універсальних фахівців. Таким чином, горизонтальна ротація розширює і тестує можливоості співробітників і повинна передувати вертикальній ротації. Очевидно, переміщати можна ті посади, які суміжні і мають відповідні освітні і юридичні бази Ротація персоналу ділиться на кілька типів. При кільцевій ротації працівник за певний період часу проходить низку посад, а потім знову повертається на стару посаду. Кільцева ротація сприяє універсалізації співробітника. При безповоротній ротації співробітник залишається на новій посаді, де його діяльність найбільш ефективна [5]. При рокировці два працівника одного рівня обмінюються посадами. Рокировки можуть проходити за обраною схемою і також сприяють універсалізації. Щоб зміна працівників відбувалася без зайвих потрясінь, працівник спочатку повинен ставати помічником чи заступником. А після адаптації займати посаду керівника. Формування нових взаємин між співробітниками компанії дозволяють максимально раціоналізувати бізнес-процеси, збільшувати інноваційність і нововведення за рахунок креативності команди. Цей прийом давно використовується при «мозковому штурмі» при прийнятті рішень, коли сприяють експерти різного профілю знань. Переміщення співробітників на нові місця обов'язково фіксуються в штатному розкладі. При цьому співробітник повинен бути попереджений про переведення заздалегідь. В основу цих програм закладають атестаційні характеристики та інші дані про працівника. В ході кільцевої горизонтальної ротації його доцільно зафіксувати в найбільш ефективній для працівника посаді. Ця посада буде стартовою для ротації по вертикалі.

Ротація по вертикалі має на увазі і підйом, і спуск. Після ротації по горизонталі виявляється слабкий співробітник. Його спускають на рівень нижче, а його місце займає перспективний співробітник з нижнього рівня. Співробітник сам вирішує підніматися вище чи ні. На новому рівні він також буде здійснювати горизонтальні ротації, знаходити межі для себе і найбільш успішну нішу. Крім того створюються резерви для кожної посади [11; 15].

Так усувається ефект Пітера в бюрократичній системі управління.

Якість керівників на всіх рівнях ієрархії буде постійно підвищуватись. Рух кадрів відбувається по еволюційній спіралі Геля. Горизонтальна ротація є селекцією. Кадри стають багатофункціональними краще розуміють цілі організації, управлінську діяльність по синхронізації функцій різних підрозділів. При вдалій горизонтальній ротації працівник може знайти своє місце сам і повідомити керівникам, що він готовий до підйому на сходинку вгору [12; 13]. Ротації по горизонталі можуть здійснюватися: з ініціативи адміністрації організації, а ротації по вертикалі – за ініціативою працівника чи колективу, або адміністрації. Якщо працівник не зможе виправдати очікування керівників, то він повертається на колишній рівень, де він буде успішно працювати. Відбувається відхід від бюрократичних ідеалів М. Вебера. Замість відсталої ієрархії відбувається горизонтальна ротація всіх рівнів управління, з періодичними підйомами та спусками по вертикалі. Цей процес можна назвати спіральною ротацією. Оскільки в прийнятті рішень і вдосконаленні функцій виконавців різних підрозділів беруть участь і керівники і виконавці, а система управління набуває елементи самоорганізації. Універсализація сприяє взаємозамінності управлінців і виконавців на посадах і управлінських ланках.

### **6. Системна і діалектична сутність ентропії у виробничих організаціях**

Дослідження наукових праць присвячених ентропії не дає повного та обґрунтованого чіткого поняття ентропії для економічних виробничих систем, в тому числі будівельних організацій. Ефективна діяльність підприємства неможлива без якісного та злагодженого процесу управління господарською діяльністю підприємств. Саме управління підприємством, організацією із середини головним чином формує

його стан в ринковому середовищі. Ефективність управлінської діяльності визначається через стан ентропії на підприємстві, тобто через міру хаосу яка «панує» в даній системі, і впливає на діяльність як системи в цілому так і кожного її підрозділу [2; 6; 14].

В технічній і економічній літературі немає єдиної думки щодо трактування дефініції ентропії. В своїх наукових дослідженнях дану проблему розглядали такі вчені: Крянєв А. В., Матохін В. В., Кліманов С. Г., Дорошенко М. Є., Пригожин А. І., Левін М. І., Каплунов В. А., Яглом А. М., Яглом І. М., Петерс Є. Є., Прангишвілі І. В. Незважаючи на достатню кількість вчених, які займаються даним питанням на сьогодні не існує загальноприйнятого визначення дефініції «ентропія» з організаційної та економічної точки зору. Тому постає питання у вивченні цієї категорії з метою підвищення інвестиційної привабливості досконалості підприємства.

З позиції ентропії організації (підприємству) притаманні наступні характеристики:

- 1) система є динамічною, стохастичною;
- 2) використовуючи певний алгоритм управління, керуюча структура подає на входи керованої підсистеми відповідні управляючі сигнали, при цьому будь-який управлінський акт передбачає вибір кращого керуючого впливу, так як метою управління є можливість вибору оптимального режиму функціонування об'єкта управління;
- 3) керована система видає вихідні сигнали в вигляді готової продукції, інновацій, екологічного забруднення, економічного ефекту, соціального ефекту;
- 4) поведінка системи в будь-який момент часу імовірнісним чином визначається вихідними сигналами, її внутрішніми попередніми станами і в даний момент часу, в свою чергу, зміна вихідних сигналів імовірнісним чином викликається зміною вхідних сигналів, а також внутрішніх станів системи, що відносяться до даного моменту часу;
- 5) рух системи відбувається за деякою траєкторією, кінцева точка якої називається метою управління.

Ентропія виникає тому, що в природі не існує абсолютно ізольованої системи, тому між системами відбувається постійний процес обміну ресурсами, енергією, інформацією і т. д. Цей процес відбувається за рахунок того, що все в природі прагне до балансу, але це можливо при

постійному процесі розпаду. Тобто з позиції фізики можна сказати, що всі системи, в тому числі і соціальні (організація, підприємство) володіють як ентропією так і негентропією. Ще однією характеристикою підприємства з позиції термодинаміки є те що ентропія виникає під впливом конкуренції за інформацію, енергію, ресурси і цим пояснюється те, що одні підприємства набувають поступових змін щодо впорядкування своєї системи, а інші розпадаються і виходять з ринку. В середовищі (підприємства) системи відбуваються процеси перетворення під впливом ентропії підприємства, а на виході підприємство отримує результат від своєї діяльності, який виражається в наборі показників, які і складаються в інтегральну оцінку інвестиційної привабливості [5; 15].

Наступний прорив у вивченні ентропії здійснив Л. Больцман. Він вперше відійшов від розгляду ентропії лише як термодинамічного показника і в своєму визначенні написав, що ентропія це міра нашого незнання про систему.

Російський вчений А. Н. Колмогоров в своїй науковій праці запропонував, що швидкість втрати інформації системою призводить до хаотичності цієї системи і є показником ентропії. Існують різні підходи до визначення поняття ентропія. Ентропію, як міру невизначеності розглядали Е. Х. Лійв, І. В. Прангишвілі, Н. Г. Нізовкіна, С. Д. Бушуєв та ін. Так, Е. Х. Лійв стверджував: “Ентропія являє собою показник невизначеності, безладу, розмаїття, хаоса, нерівноважності у системі” [2; 6]. За словами І. В. Прангишвілі: “Кількісною мірою невизначеності з приводу майбутнього стану економічної системи є ентропія, а виміром ентропії називається кількість доступної інформації про систему”. Н. Г. Нізовкіна притримувалась позиції, що: “Ентропія – кількісна міра невизначеності деякої сукупності характеристик об’єкта, що вивчається”. А на думку Л. С. Усова: “Ентропія – кількісна міра невизначеності ситуації”. Ентропію, як недостатність інформації розглядав Л. Больцман. А. Н. Колмогоров притримується думки, що: “Ентропія є оцінка швидкості втрати інформації і може розглядатися як міра «пам’яті» системами, або міра швидкості забування» початкових умов. Третій підхід – ентропія, як міра неупорядкованості системи. В. Ф. Исламутдинов [2; 6] вважав, що: “Будь-які системи володіють одним загальним показником – рівнем ентропії, який відображає стан системи і динаміку її розвитку. А за Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовський,

Е. Б. Стародубцева (“Ентропія – величина, зворотна рівню організації системи”). А. П. Левич же вважав, що: “Ентропія – це відхилення стану від його безструктурного аналога”.

Г. А. Краснов, В. В. Виноградов, А. А. Краснов мають думку, що: “Ентропія – міра внутрішньої неупорядкованості системи. Ентропія збільшується при хаотичному розподілі інформаційних ресурсів і зменшується при їх впорядкуванні”.

Всі визначення ентропії можна класифікувати за трьома групами: ентропія як міра невизначеності; як недостатність інформації; як міра неупорядкованості системи. Найбільшої уваги заслуговує група «ентропія як міра невизначеності», бо через невизначеність відбувається неупорядкованість системи і недостатність інформації про неї, що негативно впливає на діяльність цієї системи, в даному випадку підприємства [6]. Звідси випливає, що: ентропія – це процес зменшення або зростання невизначеності системи наслідком якої є недоотримання, чи надмірна кількість інформації про неї вчені в основному зосереджували увагу тільки на інформаційних та матеріальних ресурсах, бо вони є основою всієї діяльності підприємства, але необхідно розглядати усі фактори: час, духовні, природні, людські, фінансові ресурси та інші як причини зростання ентропії, бо недоотримання ресурсів призводять до порушення в керівних сигналах і в ресурсах, в зростанні ентропії, хаосу і т. д., розпаду економічної системи. З цієї позиції можна сформулювати визначення інвестиційної привабливості та ділової досконалості – це такий стан організації при якому підприємство має найбільшу впорядкованість, через якісне управління ресурсами, що веде до зменшення ентропії і як наслідок гарантує високу вірогідність отримання бажаного ефекту від вкладання ресурсів. Отже, виробничі, економічні категорії (інвестиційна привабливість, ділова досконалість та ентропія) залежать від ефективного управління власними ресурсами, часом, персоналом, машинами і вказують на можливості для інвесторів. Так, на успішність будівельної, економічної і інших видів діяльності та ділової досконалості впливає стан ентропії підприємства, тобто міра хаосу, при якій здійснюється його основна діяльність та збалансованість усіх процесів. Чим менша ентропія або хаос чим менша невизначеність підприємства, організації тим вища його інвестиційна привабливість та ділова досконалість [6].



Звільнення енергії при зменшенні ентропії стимулює творчий розвиток. Зважаючи на важливість оцінки ентропії при вимірюванні параметрів процесів, необхідно враховувати її при прийнятті управлінських, інвестиційних і будь-яких рішень.

Розвиваючи дане твердження можна припустити, що управління ентропією позитивно вплине на ефективність роботи та ділову досконалість організації. Поки що, з огляду на відсутність простих, ефективних і головне достовірних інструментальних методик, ентропію оцінюють непрямим експертним шляхом, порівнюючи досліджувану систему чи об'єкт з еталоном [6].

Об'єктами сарказму вчених поки що є маятники, рамочки, потенціометри, Е-метри, тести, детектори, проте в спеціальних організаціях незважаючи на їхній біля науковий статус, вони все ж використовуються. Прикладів досить багато але поки не з'явиться прилад чи методика доступна спеціалістам, чиновникам, солідним академікам, довести щось так, як колись Коперніку, Мессінгу чи Теслі в свій час буде важко.

### 7. Ентропія і синергетика

Ентропія – міра невизначеності, міра хаосу [2; 3; 6]. У залежності від галузі знання, виділяють безліч видів ентропії: термодинамічна (ентропія Больцмана), інформаційна (ентропія Шеннона), культурна (ентропія Гіббса), ентропія Клаузіуса і багато інших. Ентропія Больцмана є мірою безладу, хаотичності, однорідності молекулярних систем. Фізичний сенс ентропії з'ясовується при розгляді мікростану речовини. Л. Больцман був першим, хто встановив зв'язок ентропії з ймовірністю стану. У формулюванні М. Планка твердження, що виражає цей зв'язок і назване принципом Больцмана, представляється простою формулою  $S = k_B \ln W$ . Сам Больцман ніколи не писав цієї формули. Це зробив Планк. Йому ж належить введення постійної Больцмана  $k_B$ . Термін «принцип Больцмана» був введений А. Ейнштейном. Термодинамічна ймовірність стану  $W$  або статистична вага цього стану, – це число способів (число мікростану), за допомогою яких можна реалізувати даний макростан. Ентропія Клаузіуса пропорційна кількості зв'язаної енергії, що знаходиться в системі, яку неможна перетворити на роботу. Ентропія Шеннона кількісно характеризує достовірність переданого сигналу (інформації) і використовується для розрахунку

кількості інформації. Л. Сцілард, розглянувши один із спрощених варіантів парадоксу Максвелла, звернув увагу на необхідність отримання інформації про молекули і відкрив зв'язок між інформацією та термодинамічними характеристиками. Надалі рішення парадоксу Максвелла було запропоновано багатьма авторами. Зміст всіх рішень полягає в наступному: інформацію не можна отримувати безкоштовно [2; 6]. За неї доводиться платити енергією, в результаті чого ентропія системи підвищується на величину, принаймні, рівну її зниженню за рахунок отриманої інформації. У теорії інформації ентропія – це міра внутрішньої неупорядкованості інформаційної системи. Ентропія збільшується при хаотичному розподілі інформаційних ресурсів і зменшується при їхньому упорядкуванні. Тут доречно згадати М. О. Козирева (Время как физическое явление), де автор стверджує про взаємодію часу і матерії (енергії і інформації теж), що наводить на думку про зв'язок стану системи з її енергетикою, матеріальними, інформаційними і часовими ресурсами та представлених і кількісно формально виражених ентропією процесів і синергією, взаємодіючих елементів та систем.

Основні положення теорії інформації [2] в тій формі, яку їй надав К. Шеннон. Інформація, яку містить подія (предмет, організація, стан)  $Y$  про подію (предмет, організацію, стан)  $X$  дорівнює (використовуємо логарифм за основою 2):  $I(x, y) = \log(p(x/y) / p(x))$ , де  $p(x)$  – ймовірність події  $X$  до настання події  $Y$  (безумовна ймовірність);  $p(x/y)$  – ймовірність події  $X$  за умови настання події  $Y$  (умовна ймовірність). Під  $x$  і  $y$  звичайно розуміють стимул і реакцію, вхід і вихід, значення двох різних змінних, що характеризують стан системи, подія, повідомлення про неї. Величину  $I(x)$  називають власною інформацією, що міститься у події  $X$ . Наприклад: нам повідомили ( $Y$ ), що колона стоїть на квадратному будмайданчику (8 рядів – А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И та 8 вісей 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) у позиції  $X = A-4$ . Якщо до повідомлення ймовірності перебування колони у всіх позиціях були однакові і рівні  $p(x) = 1/64$ , то отримана інформація одно  $I(x) = \log(1/1/64) = \log(64) = 6$  біт.

В якості одиниці інформації  $I$  приймають кількість інформації в достовірному повідомленні про подію, апріорна ймовірність якого дорівнює  $1/2$ . Ця одиниця одержала назву “біт” (від англійського binary digits) Якщо отримане повідомлення було не цілком точним, напри-

клад, якщо нам повідомили, що браковану колону варто А-шукати чи то в позиції А-3, чи то в позиції А-4 (попала на об'єкт неприйнятною ВТК в комплекті з іншими колонами і була відомо коли змонтована). Тоді умовна ймовірність її знаходження в позиції  $X = A-4$  дорівнює вже не одиниці, а  $p(x/y) = S$ . Отримана інформація буде дорівнювати  $I(x, y) = \log((1/2) / (1/64)) = 5$  біт, тобто зменшиться на 1 біт в порівнянні з попереднім випадком. Таким чином, взаємна інформація тим більше, чим вище точність повідомлення, і в межах наближається до власної інформації. Ентропію можна визначити як міру невизначеності або як міру різноманітності можливих станів системи. Якщо система може перебувати в одному з  $m$  рівноймовірних станів, то ентропія  $H$  дорівнює  $H = \log 64 = 8$  біт. Якщо частина буд майданчика зайнята іншими конструкціями і недоступна для огляду чи обстеження, то різноманітність можливих ситуацій чи станів і ентропія зменшуються.

Таким чином виходить, що ентропія служить мірою свободи системи: чим більше у системи ступенів свобод, чим менше на неї накладено обмежень, тим більше і ентропія системи. При цьому нульовій ентропії відповідає повна інформація (ступінь незнання дорівнює нулю), а максимальної ентропії – повне незнання мікростану (ступінь незнання максимальна-6). Явище зниження ентропії за рахунок отримання інформації відбувається за принципом, сформульованим у 1953 р. американським фізиком Леоном Брюллієн і колегами, що досліджували взаємоперетворення видів енергії. Формулювання принципу наступне: «Інформація є негативний внесок в ентропію». Принцип носить назву негентропійного принципу інформації. Поняття негентропії (те ж, що й негативна ентропія або сінтропія) також застосовується до живих систем (для виробничих систем також), вона означає ентропію, яку жива (соціальна, виробнича) система експортує, щоб знизити рівень власної ентропії [13; 17].

Питання про ставлення життя до другого начала термодинаміки – це питання про те, чи є життя острівцем опору другому началу. Еволюція життя на Землі проходить від простого до складного, а друге начало термодинаміки пророкує зворотний шлях еволюції – від складного до простого. Зазначене протиріччя пояснюється в рамках термодинаміки незворотних процесів. Живий організм (виробнича система, організація) як відкрита термодинамічна система споживає ентропії менше, ніж викидає її в навколишнє середовище. Величина ентропії в

харчових продуктах чи ресурсах для виробничої системи менше, ніж у вироблюваній продукції чи продуктах виділення живого організму. Іншими словами, живий організм існує за рахунок того, що має змогу викинути ентропію, що виробляється в ньому внаслідок незворотних процесів, в навколишнє середовище [6; 16].

Так, яскравим прикладом є упорядкованість біологічної організації людського тіла. Зниження ентропії при виникненні такої біологічної організації з легкістю компенсується тривіальними фізичними і хімічними процесами. Науковий потенціал ентропії далеко не вичерпаний вже існуючими додатками. У перспективі проникнення ентропії в нову галузь науки – синергетику, яка займається вивченням закономірностей утворення і розпаду просторово-часових структур в системах різної природи: фізичних, хімічних, біологічних, економічних, соціальних і виробничих зокрема будівельних системах Застосування на практиці в будівництві ці підходи не осмислено і не освоєно, в усякому разі зручних для користування методик чи моделей немає.

### **8. Генетичний підхід до розвитку**

Організаційна генетика – сучасний метод вивчення і проектування організаційних систем, де спільна синергетична діяльність людей формує стійкі традиції, програми діяльності організацій незмінних в часі, які передаються з покоління в покоління і їх можна назвати геномом організації [10; 11; 15].

Людська спільнота – це не просто сукупність людей, а як єдиний живий організм, що володіє всіма його ознаками – генами, геномом, генотипом, фенотипом, функціональними складовими організму, етапами його розвитку. Це відноситься і до організацій різного типу, сформованих з метою виконання різних робіт, в тому числі для виробництва товарів і послуг [13; 14]. У науковій літературі згадуються такі словосполучення, як: «геном підприємства», «геном організації», «геном суспільства», «соціогенетичний підхід» до дослідження організаційної культури. Потенціал соціальної генетики, як області прогресивного і актуального знання, як наукової системи, що розширює методологічні горизонти соціології, обґрунтований у працях провідних вчених Ф. Гуяр, Д. Келлі, А. І. Субетто, Ю. В. Яковець. Соціогенетика являє собою синтез наукових знань, який Е. Гілденс та П. А. Сорокін

визначили, як вищий рівень наукової творчості, а В. І. Вернадський, Е. Н. Князева, Н. Д. Кондратьєв, А. І. Пригожин реалізували в своїх працях [11; 12]. На соціогенетичний підхід в процесі дослідження організаційної культури компаній спирається і доктор соціологічних наук Шаповалова І. С. (Белгородський державний національний дослідницький університет). Вона стверджує, що соціогенетика дозволяє створювати нові соціальні моделі і технології вивчення та управління соціальними ресурсами організації [10]. Кандидат економічних наук, доцент Новіков О. В. (Санкт-Петербурзький державний морський технічний університет) розглядає еволюційну теорію економіки і теорію генної інженерії виробничих систем і зазначає, що сучасна теорія економічної еволюції виходить з існування в організаціях деяких аналогів біологічного генома, так званих «організаційних рутин», що є загальними правилами поведінки організації. Він також вважає, що геном організації є фундаментальною одиницею їх відбору [2; 10]. А доктор медичних і філософських наук, професор Астаф'єв Б. А. стверджує, що «найважливішою подією в розвитку нашої планетарної цивілізації і початку нової епохи стало відкриття Генома світу і Еволюційних алгоритмів світу, а також великого комплексу Загальних законів світу» [11].

Згадані та ряд інших аналогічних тверджень дають підставу для зміни уявлень про створення успішних організацій і підвищенні їх ефективності, дозволяють по іншому осмислити методи вдосконалення, що застосовуються на практиці, і, до певної міри, використовувати для «виращування» успішних організацій «біологічні підходи» [10; 11].

Особливий інтерес представляють, перш за все, такі поняття, як ген і геном (сукупність генів або, сукупність спадкового матеріалу, укладеного в клітині організму), тому, що саме він містить всю інформацію, необхідну для побудови і підтримки організму. В якості «клітин» можуть бути розглянуті: для організації – її співробітники, а для держави – його організації.

### **9. Моделі і концепції досконалості як гени корпоративної культури**

Комплексне дослідження успішних організацій з метою виділення фундаментальних концепцій їх досконалості дуже важлива і цінна інформація для підвищення загальної культури виробництва [8; 12; 15].

У сконцентрованому вигляді, як в генах, тут кодуються найзагальнені відомості про організаційну (корпоративну, ділову) культуру, іншими словами – «духовний світ» успішних організацій [14; 15].

Використання концепцій дозволяє сотням тисяч організацій на всій планеті краще зрозуміти закони успішності, сформувані відповідний їм кодекс поведінки і на цій основі швидше, ефективніше і надійніше вдосконалюватися. При цьому підвищується їх ділова культура, конкурентоспроможність, досягаються високі кінцеві результати, задовольняються зацікавлені сторони. Концепції досконалості, що відображають організаційну культуру у версії EFQM (Європейського фонду управління якістю) – «законодавця мод» в частині досконалих організацій на європейському континенті [8; 15].

Досягнення збалансованих результатів). Будь-яка діяльність або ініціатива організації може бути високо оцінена, тільки якщо вона забезпечує досягнення запланованих результатів, а досягнення цих результатів, в свою чергу, сприяє реалізації місії і бачення. Досконала організація вміє оцінювати всі напрямки своєї діяльності, спроектувавши для цього єдину систему показників діяльності – від глобальних показників реалізації місії, до операційних показників на нижніх рівнях управління. Важливо, щоб ці показники ставилися не тільки до фінансових аспектів діяльності або задоволеності споживачів, а дозволяли оцінити діяльність організації з точки зору всіх зацікавлених сторін, збалансувати їх потреби і очікування [15; 17].

Додавання цінності для споживачів Успішні організації активно шукають можливості запропонувати споживачам нові цінності, які дозволять виконати або перевершити їх очікування. Для цього вони прагнуть глибокого зрозуміти своїх споживачів, їх цінності, мрії, проблеми, процеси, системно збирають відповідну інформацію про споживачів. На підставі зібраної інформації досконалиї організації придумують і створюють нові пропозиції для споживачів, в тому числі – інноваційні. Ця діяльність більш ефективна, коли споживачі беруть участь в ній, активно діляться своєю інформацією та ідеями. Організація повинна забезпечити емоційну прихильність споживачів, щоб вони були зацікавлені в довгостроковому розвитку організації і підтримували її в цьому.

Управління через бачення, натхнення і чесність лідери успішних організацій мають бачення майбутнього організації, досить яскраве і

чітке, щоб надихнути весь персонал на творчу роботу по його досягненню. При цьому у лідерів на всіх рівнях управління є механізми, повноваження і ресурси, щоб ініціювати та реалізовувати ініціативи, спрямовані на досягнення такого бачення. Також визначені цінності і принципи, в які організація вірить і яких вона дотримується у своїй діяльності. Лідери всіх рівнів не тільки особисто дотримуються їх, а й демонструють це іншому персоналу, будучи для нього прикладом поведінки, відповідного визнаним цінностям [15].

Управління через процеси.

Досконала організація розглядає всю свою регулярну діяльність як структуровану систему взаємопов'язаних процесів і управляє нею як процесами. В першу чергу це означає, що порядок виконання кожної діяльності проектується в рамках наскрізних міжфункціональних процесів і здійснюється постійний моніторинг ефективності цих процесів, а також пошук можливостей для їх вдосконалення та перепроєктування.

Досягнення успіху через людей [15].

Кращі організації розглядають співробітників не як ресурс, а як рівноправних партнерів в удосконаленні діяльності. Вони прагнуть збалансувати задоволення цілей організації і особистих цілей кожного співробітника. Це означає увагу до особистих цілей, цінностей і мрій співробітників, їх системне обговорення, готовність індивідуалізувати систему мотивації, розвитку та оцінювання персоналу. У той же час організація створює умови, в яких кожен співробітник може розвивати і використовувати весь свій потенціал, свої таланти і здібності. Для цього співробітники отримують необхідні повноваження, ресурси, середовище, можливості для розвитку.

Вирощування творчості та інновацій.

Досконалі організації активно шукають і придумують можливості для вдосконалення своєї діяльності, в тому числі – для проривного інноваційного вдосконалення. Все в організації (діяльність, процес, продукт, послуга) періодично аналізується: «чи можна зробити це краще». При цьому використовуються творчі здібності співробітників та інших зацікавлених сторін. Існує система роботи з творчими ідеями або можливостями для вдосконалення, спрямована на те, щоб вони не були забуті або втрачені, а успішно реалізовувалися.

Побудова партнерських відносин. Кращі організації не обмежують вдосконалення діяльності своїми юридичними межами, а прагнуть покращувати всі фактори, що впливають на вдосягнення їх місії і бачення. Вони активно шукають і залучають партнерів (постачальників, дилерів, освітні та наукові установи, громадські організації і т. д.), які готові спільно з ними брати участь в цьому поліпшенні. Вони розуміють наскрізні процеси формування цінностей, що охоплюють кілька організацій, і прагнуть спільно оптимізувати ці наскрізні процеси, використовуючи для цього знання і ресурси всіх сторін. Така спільна діяльність ґрунтується на чесності, прозорості та взаємній повазі [18; 19].

Прийняття відповідальності за стале успішне майбутнє досконала організація прагне забезпечити сталий розвиток в довгостроковій перспективі. Вона не робить дій, які можуть негативно вплинути на такий розвиток, навіть якщо ці дії дозволяють досягти кращих короткострокових результатів. Зокрема, організація розуміє, що дотримання етичних правил і норм є важливим фактором сталого розвитку. Ключовою умовою сталого майбутнього організації є стійке майбутнє суспільства, в якому ця організація працює. Організація розуміє свій вплив на суспільство, як позитивне, так і негативне. Вона прагне впливати на суспільство таким чином, щоб робити внесок в його сталий прогресивний розвиток.

Концепції досконалості, по суті своїй, є соціально-орієнтованими. І це природно, тому, що в умовах насиченого ринку успішними могли стати тільки ті організації, які застосовували підходи і методи, що забезпечили їм лояльних споживачів, персонал, суспільство та інші зацікавлені сторони. Виходячи з цього, кожна організація, що поклала в основу свого розвитку концепції досконалості, крок за кроком підвищує також рівень своєї соціальної відповідальності з урахуванням інтересів усіх зацікавлених сторін.

Для практичного застосування концепцій з метою вдосконалення використовуються спеціальні інструменти: моделі досконалості (моделі ідеальних організацій), логіка RADAR, а також шкала, рівні і сходи досконалості.

Моделі досконалості. У світі найбільш відомі 7 основних моделей: австралійська, іберо-американська, індійська, сингапурська, США, японська та європейська (модель EFQM). Їх координація здійснюється



в рамках Ради GEM (Global Excellence Model). Порівняння конкретної організації з моделлю дозволяє визначити її сильні і слабкі сторони (області для удосконалення). Отримання і аналіз інформації про кращу світову та вітчизняну ділову практику дозволяє організації розробити конкретну цілеспрямовану інноваційну програму вдосконалення на певний період. Після виконання заходів програми організація знову оцінюється, тобто порівнюється з моделлю. І знову: сильні та слабкі сторони – знання – програма [16; 20]... Виток за витком, по спіралі, все вище і вище.

### 10. Висновки

1. Без чіткого усвідомлення стохастичності і ієрархічного характеру існування і взаємодії соціальних виробничих систем неможливо проводити реалних достовірних максимально наближених до реальності розрахунків і здійснення факторного моніторингу і аналізу.

2. Тільки наукові інформаційні програми і комп'ютерні швидкодіючі технічні засоби під керівництвом високоінтелектуальних і духовних людей можуть охопити вимірюваннями величезну кількість параметрів значущих процесів, оцінити їхній вплив на кінцевий запланований результат, на моніторинг усіх процесів і їхнє регулювання. Тобто арсенал інструментів повинен бути більшим, ніж кількість підконтрольних процесів і систем.

3. На етапах розвитку систем і організацій вище телеономічного рівня тільки наука і наукові підходи, а не бюрократична система (яка по суті стає тормозом прогресу виробничих сил і відносин), може забезпечувати реальний сталий розвиток соціальних наукомістких виробничих систем.

4. Удосконалення підприємств і організацій з використанням генетичного підходу може значно підвищити ефективність і конкурентоспроможність, як самих підприємств, так і економіки в цілому. Для реалізації такого підходу необхідно затратити більше і часу, і ресурсів. Але ж і при проектуванні автоматизованих систем управління витрачається значно більше часу і ресурсів, ніж при впровадженні стандартів на цільові системи менеджменту. Однак це не стало приводом для скасування автоматизації процесів управління. В даний час впровадження стандартів на системи менеджменту без належної інституційної

підтримки не принесло помітного позитивного ефекту на рівні держави – це широко відомий факт. Але ж так сталося тому, що держава цим не займалась, а займала позицію незацікавленого спостерігача. А в окремих організаціях спостерігався значний прогрес, звичайно там, де цим інструментом змогли скористатись. Тому, така практика вдосконалення не є достатньо ефективною і сама потребує вдосконалення і розвитку за сприяння з боку держави.

5. Щоб ефективно застосовувати наукомісткі інноваційні технології керівники і персонал повинні мати відповідні здібності, освіту, кваліфікацію, підготовку і досвід, а для об'єктивної оцінки кадрів має діяти неупереджений, незалежний державний механізм підготовки і відбору кадрів.

### Список літератури:

1. Глушков В. М. Використання в народному господарстві обчислювальної техніки і ефективність її використання. Київ : ВНИІП, 1967. С. 3–8.
2. Ешбі У. Р. Введення в кібернетику / за ред. В. А. Успенського. Москва : Вид. іноземн. літ., 1959. 432 с.
3. Новіков О. В. Основи функціональної теорії еволюції економічних систем. *Питання економіки і права*. 2011. № 7. С. 41–144.
4. Бір С. Кібернетика в управлінні виробництвом. Москва : ГІФМЛ, 1963. 277 с.
5. Савенко В. І., Доценко С. І., Ключова В. В., Терещук М. О. Оптимальні методи управління будівельною організацією комбінатного типу. *Збірник наукових праць управління розвитком складних систем*. 2018. № 35. С. 147–154.
6. Савенко В. І., Пальчик С. П., Ключова В. В., Терещук М. О. Ентропія як прояв системної та діалектичної сутності будівельної організації комбінатного типу *Збірник наукових праць управління розвитком складних систем*. 2018. № 36. С. 142–147.
7. Попов В. П., Крайнюченко І. В. Теорія і практика рішень. Міждисциплінарний підручник. Саратов, 2018. 157 с.
8. Калита П. Я. Головна ланка, або як витягнути ланцюг соціально-економічних проблем (на прикладі України). *Стандарти і якість*. 2010. № 1. С. 8–13. URL: <http://www.efqm.org/the-efqm-excellence-model95>
9. Савенко В. І., Ключова В. В., Пальчик С. П. Розвиток виробничої організації на основі впровадження системи управління якістю та енергоефективних науковомістких технологій. *Зб. наук. праць 7-а міжнар. наук. -прак. конф. КЗЯТПС (ЧНТУ, травень 2017 р.)*. Чернігів, 2017. С. 102–104.
10. Шаповалова І. С. Соціогенетичний підхід у вивченні організаційної культури. *Наукові відомості БелГУ*. 2009. № 5. С. 159–167.
11. Астаф'єв Б. А. Геном і закони світу – основа організації творення життя майбутнього людства. *Перспективи збереження і розвитку єдиної цивілізації : міжнар. наук. конф.* (Москва, травень 2002). URL: [http://www.raen-education.webhost.ru/plan\\_3\\_2.htm](http://www.raen-education.webhost.ru/plan_3_2.htm)

12. Савенко В. І., Доценко С. І., Ключова В. В., Пальчик С. П. Генетичний підхід до ділової досконалості та ізоморфізм структури будівельної організації. Зб. наук. пр. 8-а міжнар. наук. конф. (ЧНТУ, травень 2018). Чернівці, 2018. С. 20–27.

13. Мільнер Б. З. Теорія організації. Підручник. Москва : Вища освіта, 2005. 646, 2005 с.

14. Савенко В. І., Доценко С. І., Пальчик С. П., Ключова В. В., Терещук М. О. Інтелектуальні інформаційні інструменти розвитку виробничої системи енергетичного менеджменту та підприємства в цілому. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 37. С. 195–204.

15. Савенко В. І., Доценко С. І., Пальчик С. І., Калита П. Я. та ін. Менеджмент якості в будівництві і геном ділової досконалості організації : монографія / за ред. В. І. Савенка. Київ : Центр учб. літерат., 2018. 230 с.

16. Богданов О. О. Тектологія Загальна організаційна наука : Третє видання. Москва, 1929. 657 с.

17. Вебер М. Вибрані твори. Москва : Прогрес, 1990. 805 с. 805с

18. Савенко В. І., Доценко С. І., Нестеренко І. С., Куліков П. М. та ін. Дослідження і математичне моделювання організаційних структур та виробничих процесів будівельних організацій комбінатного типу : монографія / за ред. В. І. Савенка. Київ : Центр учбов. літ., 2018. 124 с.

19. Савенко В. І., Фіалко Н. М., Доценко С. І., Куліков П. М. Научно-технические основы энергоэффективного экологически чистого электроотопления помещений, энергосбережение и энергоменеджмента : монографія / за ред. Н. М. Фіалко. Київ : Центр учб. літ., 2018. 371 с.

20. Савенко В. І., Доценко С. І., Ключова В. В., Пальчик С. П. Концептуальні засади ефективного розвитку будівельної організації на базі раціонального управління. *Управління розвитком складних систем*. 2018. № 33. С. 123–129.

### References:

1. Glushkov, V. M. (1967). The use of computer technology in the national economy and the efficiency of its use. Kyiv: Ukrainian scientific journal VNIGP.

2. Ashby, U. R. (1959). Introduction to Cybernetics / ed. V. A. Uspenskiy. Moscow: ed. for lit.

3. Novikov, O. V. (2011). Fundamentals of functional theory of evolution of economic systems. *Issues of economics and law*, no. 7, pp. 141–144.

4. Bir, S. (1963). Cybernetics in production management. Moscow : GIFML.

5. Savenko, V. I., Dotsenko, S. I., Klyueva, V. V., & Tereshchuk, M. O. (2018). Optimal methods of management of the construction organization of combine type. *Collected scientific works of management of development of difficult systems*, no. 35, pp. 147–154.

6. Savenko, V. I., Palchyk, S. P., Klyueva, V. V., & Tereshchuk, M. O. (2018). Entropy as a manifestation of the systemic and dialectical essence of the construction organization of the combinatorial type *Collection of scientific works on the management of the development of complex systems*, no. 36, pp. 142–147.

7. Popov, V. P., & Krainyuchenko, I. V. (2018). Theory and practice of decisions. Interdisciplinary textbook. Saratov: IPRDooks.
8. Kalita, P. Ya. (2010). The main link, or how to draw a chain of socio-economic problems (on the example of Ukraine). *Standards and quality*, no. 1, pp. 8–13. URL: <http://www.efqm.org/the-efqm-excellence-model95>
9. Savenko V. I., Klyueva V. V., & Palchyk S. P. (2017). Development of a production organization based on the introduction of a quality management system and energy-efficient science-intensive technologies. *Collection of scientific works of the 7th international scientific-practical work. Conf. KZYATPS* (ChNTU, May 2017). Chernihiv.
10. Shapovalova, I. S. (2009). Sociogenetic approach in the study of organizational culture. *Scientific information of BelSU*, no. 5, pp. 159–167.
11. Astafyev, B. A. (2002). The genome and laws of the world – the basis for organizing the creation of the life of future mankind. Prospects for the preservation and development of a single international civilization. Science. Conference (Moscow, May 2002). URL: [http://www.raen-education.webhost.ru/plan\\_3\\_2.htm](http://www.raen-education.webhost.ru/plan_3_2.htm)
12. Savenko, V. I., Dotsenko, S. I., Klyueva, V. V., & Palchyk, S. P. (2018). Genetic approach to business excellence and isomorphism of the structure of the construction organization. 8th International Scientific Conference *Collection of scientific works of the 8th international scientific-practical work. Conf. KZYATPS* (CHNTU, May 2018). Chernihiv.
13. Milner, B. Z. (2005). Organization theory. Textbook. Moscow: Higher Education.
14. Savenko, V. I., Dotsenko, S. I., Palchyk, S. P., Klyueva, V. V., & Tereshchuk, M. O. (2019). Intelligent information tools for the development of the production system of energy management and the enterprise as a whole. *Collection of scientific works Management of complex development systems*, no. 37, pp. 195–204.
15. Savenko, V. I., Dotsenko, S. I., Palchyk, S. I., Kalita, P. Ya. etc. (2018). Quality management in construction and the genome of business excellence of the organization: a monograph / ed. V. I. Savenko. Kyiv: Center for Educational Literature.
16. Bogdanov, O. O. (1929). Tectology General Organizational Science: Third Edition. Moscow.
17. Weber, M. (1990). Selected works. Moscow: Progress.
18. Savenko, V. I., Dotsenko, S. I., Nesterenko, I. S., Kulikov, P. M. etc. (2018). Research and mathematical modeling of organizational structures and production processes of construction organizations of the combine type: monograph / ed. V. I. Savenko. Kyiv: Center for Educational Literature.
19. Savenko, V. I., Fialko, N. M., Dotsenko, S. I., & Kulikov, P. M. (2018). Scientific and technical bases of energy-efficient ecologically clean electric heating of premises, energy saving and energy management: monograph / edited by N. M. Fialko. Kyiv: Center for Educational Literature.
20. Savenko, V. I., Dotsenko, S. I., Klyueva, V. V., & Palchik, S. P. (2018). Conceptual bases of effective development of the building organization on the basis of rational management. *Collection of scientific works Management of complex development systems*, no. 33, pp. 123–129.

## CHAPTER «PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES»

### HIGH ENERGY PHYSICS IN THE CONTEXT OF D-BRANE THEORY AND SEARCHES FOR NEW PHYSICS AT THE LHC

Tetiana Obikhod<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-53-2-58>

**Abstract.** In the last decades, we have witnessed the development of soliton theory. This theory had a significant impact on both physics and mathematics. It provided rich material for models of classical field theory. Among these models there are well-known and important applications of equation such as the Korteweg-de Vries equation, the sine-Gordon equation, and others have proven to be well known. The soliton theory is the fusion of the classical theory of linear differential operators, the theory of Lie algebras, elements of geometry, algebra and the theory of derived categories. The theory of derived categories was the starting point for the development of F-theory, superstring theory, and D-brane theory, a modern version of The Theory of Everything. The paper is devoted to the theoretical researches for high-energy soliton objects of type of D-branes. D-brane theory is characterized by a very rich mathematical apparatus, the components of which are category theory, K-theory and homological algebra, which give information about the spectra, masses, decays of D-branes. For the further studying of D-branes their energetic spectra and phase transitions between different soliton states are calculated. By means of package INSTANTON BPS, states are calculated. For investigation of space of modules of Calabi-Yau manifold – the base of D-brane fiber bundle and for calculation the number of generations of quarks and leptons, the Nakamura's algorithm is applied for calculation the Hilbert scheme for orbifold model. By means of Clifford's algebra, the topological invariant of D-branes – K-functor is calculated, and the decay of D3-brane into

---

<sup>1</sup> Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Scientific Researcher, Institute for Nuclear Research of NAS of Ukraine, Kyiv

D5-brane and D5-antibrane is studied. The theory of derived categories is applied for investigation of D-brane stability. One of the axioms of the theory of derived categories – the axiom of an octahedron is applied to D-brane treatment of pentaquarks and for investigation the decay of a proton. Within the theory of extra dimensions, microscopic black holes in the deconfinement phase in the framework of AdS/CFT correspondence are considered and found matter content. Experimental observation of high-energy solitonic objects of the D-brane type requires not only a sophisticated and modern mathematical apparatus, but also super expensive and highly efficient experimental complexes. There are many such accelerators, but the Large Hadron Collider is the most promising and effective. The discovery of the Higgs boson is the greatest triumph of experiments at the LHC. However, supersymmetry has been proposed for the solutions of the hierarchy problem. Superstring theory is applied to construct the Minimal Supersymmetric Standard Model. The mass spectrum, partial widths and production cross sections of superpartners are calculated. This approach gives concise predictions for superpartner searches at the LHC. The study of extended Higgs boson sector is made and within Two-Higgs-doublet model the masses, decay widths and production cross sections are calculated. The reconstruction of the LHC at larger energies will make it possible to verify existing predictions of the observables and adjust theoretical models.

### 1. Introduction

**Novelty and actuality of theme.** The development of high energy physics is now associated with both a powerful theoretical apparatus – the theory of D-branes and superstring, and the ability to test the most recent theoretical predictions in the experiment. Although virtually all of the experimental data observed on the high-energy accelerators are in good agreement with the predictions of the Standard Model (SM), many factors indicate the closeness of the energy scale, at which new physics beyond the SM should manifest. The searches for Kaluza-Klein (KK) particles of gauge bosons, microscopic black holes (MBHs), superpartners, and other exotics in experiments at the Large Hadron Collider (LHC) are aimed at discovering new physics beyond the SM. The increasing accuracy of experimental measurements of observed quantities in modern high energy

physics requires the improvement of the theoretical description of relevant physical phenomena, which is the main purpose of the work.

The work is devoted to the development and application of D-brane and superstring theory methods to describe BPS states, spaces of extra dimensions, KK partners of gravitons and bosons, superparticles, and the extended Higgs boson sector, the searches for which are realized in modern high energy physics experiments.

The only theory of fundamental interactions is the F-theory, which establishes a one-to-one correspondence between the singularities of the toric varieties and the matter content, which is searched for at the LHC. Typical examples of toric varieties are the Calabi-Yau threefolds, for which the gauge and multiplet content are calculated. The phase transitions between different threefolds give information about the decay and fusion reactions of the particles, which are carried out at high energies. This is very relevant in the light of the search for new physics at the LHC. The use of a mathematical apparatus – homotopy groups, cohomology groups, K-theory for calculating topological invariants of high-energy solitonic objects – D-brane, is analogous to the solution of quantum-mechanical equations for finding observable and states. These calculations are a mathematical envelope of those physical phenomena at high energies, the mechanism of which has not yet been established, and where the application of analytical methods to calculate the observed phenomena is an impossible task because of the deep nonlinearity of the processes. Therefore, within the framework of algebraic geometry and theory of derived category, it is important to be able to give preliminary theoretical and computer calculations of topological invariants to characterize solitonic states and to study their transitions to other states, to study the multiplet content of particles, and to understand the strategy of further searches for new physics.

The paper uses the theory of derived category to calculate the physical characteristics of the elementary particles observed in the experiment. Theory of derived category is a mathematical apparatus of superstring theory. Aspinwall's work on the application of category theory to D-branes is a fundamental work in the further application of the mathematical apparatus of derived category theory to the study of stability of D-branes [1]. In high energy physics, we work with ten dimensional space-time  $R^{3,1} \times X$ , where  $R^{3,1}$  is a four-dimensional space-time and  $X$  is a space of extra dimensions,

which, in particular, can be a Calabi-Yau space, an orbifold, etc. We focus our attention on this space and study it in various aspects.

Carrying out mass calculations for KK partners of gravitons and vector bosons within the model of extra dimensions is an urgent task due to the active search for heavy gauge bosons at the CMS and ATLAS (LHC) installations. Experimental search for supersymmetry (SUSY) signal at the LHC within the framework of CMS collaboration at energy  $\sqrt{s} = 13$  TeV in proton-proton collisions is important both for the development of methods of experimental search for supersymmetry on CMS and for further search of superparticles at energy  $\sqrt{s} = 14$  TeV.

The main purpose of the paper is to study the properties of high-energy solitonic objects such as D-brane and superstrings. The subject of the study is the oscillatory modes of superstrings, i.e., superparticles, the extended Higgs boson sector, the KK partners of gravitons and gauge bosons, microscopic black holes, the purposeful search of which is performed at the LHC. Since the properties of such objects depend on the properties of the space of extra dimensions, the task of the paper is to study the features of such space.

## **2. Research methods**

The following methods are used in the paper: toric geometry; algebraic geometry; Nakamura algorithm; K-theory; derived category theory; computer programs INSTANTON, SOFTSUSY, SDECAY, PYTHIA, PROSPINO, HIGLU, SusHi.

String theory appeared as an attempt to describe the strong nuclear force in 1960. The idea of strings was proposed to explain the structure and scattering of  $\pi$ -mesons at high energies, which were represented as one-dimensional strings. Later in 1970, equations of this theory with interactions through strings were proposed by Nambu, Nielsen, Susskind. In 1974, in the framework of string theory the unification of all four fundamental forces and elementary particles was proposed. The incorporation of a supersymmetric group into Neveu-Ramond-Schwarz string model leads Wess and Zumino to the idea of space-time supersymmetry in 1974, the consequence of which was 'Superstring Revolution'. There are five superstring theories: type I with  $SO(32)$  gauge symmetry, type IIA and IIB with closed strings and no gauge symmetry, heterotic theory with  $SO(32)$  gauge symmetry



and heterotic theory with  $E_8 \times E_8$  gauge symmetry. ‘Second Superstring Revolution’ in 1995 was proposed by Witten introduced dualities, which unified all five 10-dimensional superstring theories into 11-dimensional M-theory. M-theory led to the concept of D-branes.

The ideology of D-brane theory is connected with the development of the theory of solitons from the equations of Korteweg-de Vries, sine-Gordon to monopoles and instantons. The new solitonic objects that appeared in the 1970s are the result of superstring theory. Such an interpretation of elementary particles avoided the problems of renormalization of quantum field theory. Incorporation into the theory of open strings led to the introduction of multidimensional objects – Dp-branes (p – dimension of measurements), on which open strings with Dirichlet boundary conditions are attached. They are solitonic objects in multidimensional space-time and have great application in high energy physics. For D-brane as solitonic object ( $X$ ), the space-time variety  $M$  is endowed with a certain structure. For the main bundle over  $M$

$$\begin{array}{c} X \\ \downarrow G \\ M \end{array}$$

with structural group  $G$  as a gauge group, it is possible to construct a vector bundle, which plays an important role not only for the calculations of topological invariants, but also for the study of transitions between D-branes. The basis of the bundle or the space of extra dimensions  $M$  may be the space Calabi-Yau, orbifolds and other varieties. The paper is devoted to the study of the properties of Calabi-Yau manifolds, orbifolds, which give information about the physical properties of solitonic states of type of D-brane. For example, Bogomolny-Prasad-Sommerfeld (BPS) states were calculated by Klem, Mair, and Waffa [2] only for threefolds, but fourfolds, which are important in F-theory, were not considered. These manifolds were presented in our paper. The calculation of topological invariants of D-brane with the help of K-theory [3] was proposed by Witten, Olsen, and Szabo [4]. So, the spectra of type IIB and IIA superstrings as the products of the decay of a microscopic black hole calculated using the  $\tilde{K}(S^{9-p})$  functor and Clifford algebras was actual and considered in the paper. These calculations are important in the aspect of finding of microscopic black hole at high energies at the LHC.

In 2000, Douglas [5] and Aspinwall [6] constructed the theory of D-branes in terms of derived categories. It is widely used not only for theoretical constructs, but also to calculate the observables. For example, the theory of triangulated categories is applied for the interpretation of the masses of pentaquarks, for the elucidation of proton stability, and to study the stability of solitonic objects at high energies.

The F-theory, which combines four types of interactions at high energies is now being tested at the LHC. Particles such as microscopic black holes, KK partners of gravitons and gauge bosons are the subject of search at the ATLAS and CMS experimental facilities at the LHC. Within the framework of AdS/CFT correspondence, the paper presents the searches for a microscopic black hole in deconfinement phase. The matter content described by the Conformal Field Theory (CFT) which is holographically dual to the space of anti-de-Sitter (AdS) is obtained.

The transition of the F-theory to the supersymmetric theory at energies of  $10^{15}$  GeV allows us to consider the MSSM model. The search for superparticles, as a confirmation of the theory of SUSY, is being actively pursued at the LHC.

The discovery of the Higgs boson in 2012 [7; 8] was the most important event in physics in recent years. Now, at the LHC the properties of this particle are studied. Although it is confirmed that it belongs to the SM, but some of its properties are uncertain. MSSM theory predicts the existence of an extended Higgs boson sector. Within the framework of this theory, we calculated the properties of the SM-like Higgs boson.

### **3. F-theory and properties of Calabi-Yau manifolds and orbifolds**

F-theory as theory of all particles and interactions generalizes superstring theory and called The Theory of Everything (TOE). Modern physics requires that the TOE combine four known fundamental interactions: gravitational interaction, electromagnetic interaction, strong nuclear force, weak nuclear force.

The first step towards this was to combine electromagnetic and weak interactions in the theory of electroweak interaction, created in 1967 by Stephen Weinberg, Sheldon Glashow, and Abdus Salam. In 1973, the theory of strong interaction was proposed. Currently, the main candidate for TOE is the F-theory, which operates with more than the observed 3+1 space-time

dimensions. The impetus for this has been the Kaluza-Klein theory, which allows the integration of general theory of relativity and electromagnetic theory by introducing an extra dimension.

The F-theory is a twelve-dimensional theory that is defined at energies of the order of  $10^{19}$  GeV. The compactification of the F-theory to the space of extra dimensions leads to a our four-dimensional space with certain characteristics of solitonic states in vacuum. Therefore, to study the supersymmetry defined in four-dimensional space, we consider the compactification of the F-theory on Calabi-Yau manifolds with certain properties. The large number of Calabi-Yau manifolds leads to a large number of new models being implemented in the low-energy approximation. Therefore, one of the main tasks of the physicists is to select from a satisfactory set of spaces Calabi – Yau such set that would give the most adequate justification of the number and content of all known particles. The physical characteristics of topological solitonic states, which are realized as elementary particles in a low-energy approximation, are determined by studying the features of the Calabi-Yau manifolds using algebraic geometry [9].

Our aim is to calculate the spectra of BPS states in F-theory on elliptically fibered fourfolds using the computer program INSTANTON.

Let us consider the Donagi-Grassi-Witten Model. The spectrum of BPS states is presented in Table 1 for the model  $P^1 \times S$ , where  $P^1$  – the one-dimensional projective space,  $S$  – the del Pezzo surface.

The sequences,  $1 \cdot 252^*$ ,  $2 \cdot 5130^*$ ,  $3 \cdot 54760^*$ , (marked with an asterisk in Table 1) are new and physically interesting because they indicate the presence of additional states.

We also considered elliptically fibered fourfold over  $P^1$ -fibration  $P(O_B \otimes O_B(f_1 + f_2))$  on the base  $B = (P^1)^2$ , where  $f_1$  and  $f_2$  are the layers of two projections from  $B$  in  $P^1$  and elliptically fibered fourfold over  $P^1 \times F_1$ , where  $F_1$  is the Hirzebruch surface. In these two cases sequences

$$\begin{aligned} &1 \cdot 252, 2 \cdot 5130, 3 \cdot 54760, \dots, \\ &-2 \cdot 9252, -3 \cdot 673760, -4 \cdot 20534040, \dots, \\ &3 \cdot 848628, 4 \cdot 115243155, 5 \cdot 6499779552, \dots \end{aligned}$$

are new and interesting from a physical point of view as they indicate the presence of additional states.

Table 1

Instantaneous numbers (degeneracy rates of BPS states) for the model  $P^1 \times S$

$n_{2,1,3,0,0}$	$n_{2,1,3,0,1}$	$n_{2,1,3,0,2}$	$n_{2,1,3,0,3}$	$n_{2,1,3,0,4}$	$n_{2,1,3,0,5}$
1	252	5130	54760	419895	2587788
27 sequences					
$n_{2,1,3,0,1}$	$n_{2,2,3,0,1}$	$n_{2,3,3,0,1}$	$n_{2,4,3,0,1}$	$n_{2,5,3,0,1}$	
$1 \cdot 252^*$	$2 \cdot 5130^*$	$3 \cdot 54760^*$	$4 \cdot 419895^*$	$5 \cdot 2587788^*$	
27 sequences					
$n_{4,0,3,0,1}$	$n_{4,1,3,0,1}$	$n_{4,2,3,0,1}$	$n_{4,3,3,0,1}$	$n_{4,4,3,0,1}$	$n_{4,5,3,0,1}$
1	252	5130	54760	419895	2587788
513 sequences					
$n_{5,0,3,0,1}$	$n_{5,1,3,0,1}$	$n_{5,2,3,0,1}$	$n_{5,3,3,0,1}$	$n_{5,4,3,0,1}$	$n_{5,5,3,0,1}$
1	252	5130	54760	419895	2587788
702 sequences					
$n_{6,0,3,0,1}$	$n_{6,1,3,0,1}$	$n_{6,2,3,0,1}$	$n_{6,3,3,0,1}$	$n_{6,4,3,0,1}$	$n_{6,5,3,0,1}$
1	252	5130	54760	419895	2587788
189 sequences					

The study of D-branes on orbifolds is connected with the space of the orbifold modules  $C^3 / Z_n$ ,  $n = 3$ . It is constructed using the Nakamura algorithm. An example is Nakamura's algorithm for a model  $\frac{1}{3}(1,1,1)$  is presented by the McKay quiver parked with tripods in Figure 1 and Figure 2.



Figure 1. McKay quiver for the model  $\frac{1}{3}(1,1,1)$

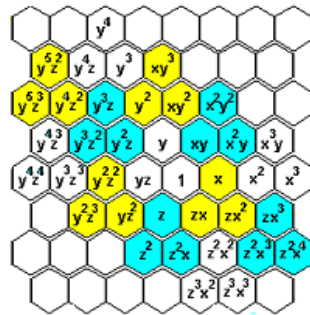
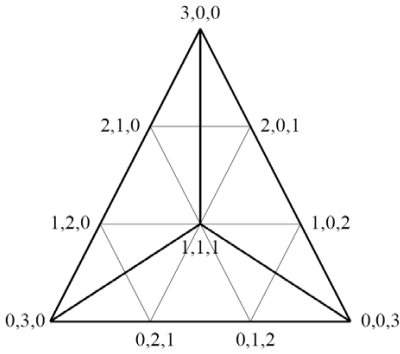


Figure 2. A monomial representation of the McKay quiver for the model  $\frac{1}{3}(1,1,1)$



**Figure 3. The Hilbert scheme of the model  $\frac{1}{3}(1,1,1)$**

Hilbert's scheme for the model  $\frac{1}{3}(1,1,1)$  is presented in Figure 3.

Thus, the presentation of the Hilbert scheme as a toric variety of fans and the splitting of the fans into cones has a deep physical meaning. For example, in the case of a model  $\frac{1}{3}(1,1,1)$ , knowing the number of vertices of the Hilbert scheme and the number of cones, we have information on the fundamental representation of the group  $SU(3)$ . The number of generations of quarks and leptons characterized by this group is equal to three.

#### 4. D-brane properties and high energy physics

The section is devoted to the study of D-brane properties. D-branes as solitonic objects are characterized by topological invariants of the type of homotopy groups or cohomology groups [10]. At high energies, instead of the analytical approach, it is advisable to switch to the fibered spaces for calculations of topological invariants, which are analogues of the observables in quantum physics. We deal with the computation of

Table 2

#### Clifford algebras and groups $\bar{K}(S^k)$

	$C_k^c$	$\bar{K}(S^k)$
1	$C \oplus C$	0
2	$C(2)$	$Z$
3	$C(2) \oplus C(2)$	0
4	$C(4)$	$Z$
5	$C(4) \oplus C(4)$	0
6	$C(8)$	$Z$
7	$C(8) \oplus C(8)$	0
8	$C(16)$	$Z$

topological charges of D-branes using the K-theory. To consider the decay of the D-branes the Clifford algebra together with the Grothendieck group  $K$  is applied. This group describes the topological charges of a topological soliton of D-brane type presented in Table 2.

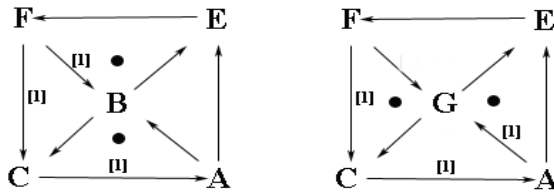
The spectrum has been calculated by applying the spectral sequence of Ati-Hirzebruch. The decay of the D3-brane corresponds to the nesting of K-groups

$$\bar{K}(S^6) \supset \bar{K}(S^4) \oplus \bar{K}(S^4)$$

which signals about the existence of a decay

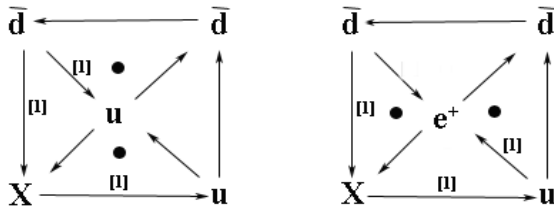
$$D3 \rightarrow D5 + \bar{D}5.$$

The consideration of the triangulated category and octahedron diagram



where distinguished triangles are marked by  $\bullet$ .

Since quarks, leptons, and X-bosons are solitonic excitations in a proton, we plot an octahedron



From the consideration of the experimental data on masses of u-quark and d-quark [11] we conclude that the proton decay is impossible.

### 5. The study of the properties of Kaluza-Klein modes

Another solutions to the problem of the hierarchy are models with extra dimensions: Arkani-Hamed-Dimopoulos-Dvali (ADD) [12] and Randall-

Sundrum (RS) [13]. One of the characteristic features of the models with extra dimensions is the existence of the Kaluza-Klein (KK) mode. Their identification is one of the leading tasks of the LHC. It is assumed that during the collision of 14 TeV particles, a short-lived fireball or a microscopic black hole (mbh) is formed in the center of mass energy system, which decays into a jets of new particles – KK– partners.

We have considered the microscopic black hole in the deconfinement phase in the framework of AdS/CFT correspondence. The matter content, described by holographically dual to the AdS space Young-Mills theory, has the following form

$$\begin{aligned}
 & D(1, 0, 0 | 6)_0 + D\left(\frac{3}{2}, \frac{1}{2}, 0 | 4\right)_2 + D\left(\frac{3}{2}, 0, \frac{1}{2} | \bar{4}\right)_2 + D(2, 1, 0 | 1)_2 + D(2, 0, 1 | 1)_2, \\
 & D(4, 1, 1 | 1)_0 + D\left(\frac{7}{2}, 1, \frac{1}{2} | \bar{4}\right)_2 + D\left(\frac{7}{2}, \frac{1}{2}, 1 | 4\right)_2 + D\left(3, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} | 15\right)_1 + D(3, 1, 0 | 6)_2 + \\
 & + D(3, 0, 1 | \bar{6})_2 + D\left(\frac{7}{2}, \frac{1}{2}, 0 | 4\right)_2 + D\left(\frac{7}{2}, 0, \frac{1}{2} | \bar{4}\right)_2 + D\left(\frac{5}{2}, \frac{1}{2}, 0 | 20\right)_2 + D\left(\frac{5}{2}, 0, \frac{1}{2} | \bar{20}\right)_2 + \\
 & + D(2, 0, 0 | 20)_0 + D(3, 0, 0 | 10)_0 + D(3, 0, 0 | \bar{10})_0 + D(4, 0, 0 | 1)_0 + D(4, 0, 0 | 1)_0.
 \end{aligned}$$

and is described by both exotic KK partners and well-known 15-plet of vector mesons  $D\left(3, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} | 15\right)_1$  and 20-plet of baryons  $D\left(\frac{5}{2}, \frac{1}{2}, 0 | 20\right)_2$ , which emphasizes the correct choice of theory to predict the spectrum of particles, purposeful searches for which are carried out at the LHC.

### 6. Searches for superparticles

The search for new physics at the LHC is intended to discover superpartners of quarks and leptons provided by MSSM model. As SUSY model is the part of unified theory of fundamental interactions, we must build MSSM model by using theories of D-branes and superstrings. The theory of D-branes and superstrings is based on the mathematical apparatus of the theory of derived categories. In this approach, D-branes are described by quivers, and superstrings are described by Ext groups. The objects of derived category are quivers, and morphisms are the Ext-groups that describe the superstrings. Ext-group calculations make it possible to calculate the particle content of the MSSM model, which, in addition to the known

particles, contains superpartners and extended sector of Higgs bosons. Computer algorithms allows us to calculate the mass spectrum of superpartners and Higgs bosons, as well as the partial widths and production cross sections of the superparticles. These predictions are very promising because they are related to the search for new physics beyond the SM and can be tested on the CMS and ATLAS detectors. The quivers and morphisms are presented in Figure 4.

Substitution of orbifold charges

$$a = b = c = a' = b' = c' = 4$$

in groups

$$Ext^0(Q, Q') = C^{aa' + bb' + cc'}$$

$$Ext^1(Q, Q') = C^{3ab' + 3bc' + 3ca'}$$

together with the use of the Langlands hypothesis [14], gives the realization of the space of superstring modules in terms of SU(5) multiplets:

$$3 \times (24 + 5_H + \bar{5}_H + 5_M + \bar{5}_M + 10_M + \bar{10}_M).$$

With this result, we can construct a gauge invariant superpotential of the MSSM model

$$W_{SU(5)} = \lambda_{ij}^d \cdot \bar{5}_H \times \bar{5}_M^{(i)} \times 10_M^{(j)} + \lambda_{ij}^u \cdot 5_H \times 10_M^{(i)} \times 10_M^{(j)} + \mu \cdot 5_H \times \bar{5}_H.$$

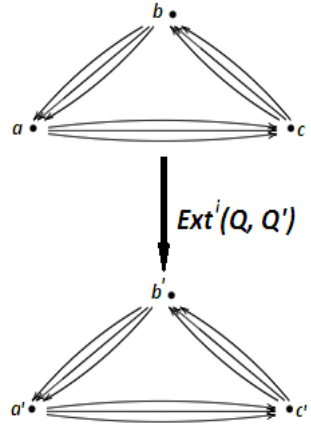
The use of this superpotential, together with the five parameters on which it depends, makes it possible to calculate the masses of superparticles, the widths of decays, the production cross sections of the superparticles, the histograms of the mass distribution of superparticles. An example of calculating the partial widths of superpartners for gluino is shown in Table 3.

The histogram of the mass distribution of superparticles, calculated with the corresponding five parameters

$$m_0 = 20 \text{ GeV}, \quad m_{1/2} = 440 \text{ GeV}, \quad A_0 = -25 \text{ GeV},$$

$$\tan \beta = 15, \quad \text{sgn}(\mu) = +1$$

is presented in Figure 5.



**Figure 4.**  
The representation of D-branes by quivers and superstrings by arrows



Table 3

Partial widths of superpartners for gluino

	channel	BR	channel	BR
$\tilde{g}$	$\tilde{d}_L d^*$	0.023	$\tilde{c}_L c^*$	0.025
	$\tilde{d}_L^* d$	0.023	$\tilde{c}_L^* c$	0.025
	$\tilde{d}_R d^*$	0.046	$\tilde{c}_R c^*$	0.044
	$\tilde{d}_R^* d$	0.046	$\tilde{c}_R^* c$	0.044
	$\tilde{u}_L u^*$	0.025	$\tilde{b}_1 b^*$	0.074
	$\tilde{u}_L^* u$	0.025	$\tilde{b}_1^* b$	0.074
	$\tilde{u}_R u^*$	0.044	$\tilde{b}_2 b^*$	0.050
	$\tilde{u}_R^* u$	0.044	$\tilde{b}_2^* b$	0.050
	$\tilde{s}_L s^*$	0.023	$\tilde{t}_1 t^*$	0.099
	$\tilde{s}_L^* s$	0.023	$\tilde{t}_1^* t$	0.099
	$\tilde{s}_R s^*$	0.046		
	$\tilde{s}_R^* s$	0.046		

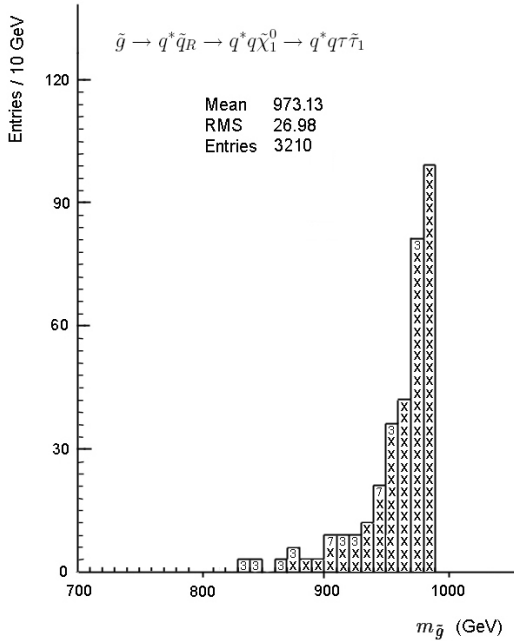


Figure 5. The histogram of the mass distribution of gluino  $\tilde{g}$

**7. The study of the Higgs boson properties within MSSM model**

After the discovery of the Higgs boson in 2012, in the physics of elementary particles began a comprehensive study of its properties. The main goal is to study the properties of this particle, its deviation from the predictions of SM. The detection of physics beyond the SM connected with many scenarios which include a SM-like Higgs boson as part of an extended sector of scalar particles. In any case, searches for new Higgs bosons are connected with the measurements of the properties of the new particles of an extended sector.

With the help of SOFTSUSY, SDECAY, HIGLU computer programs, within the experimentally selected set of MSSM model parameters, masses, decay widths and production cross sections of the lightest Higgs boson of MCCM model were calculated. It is shown that the mass at a certain set of parameters coincides with the mass of the experimentally open Higgs boson (Table 4).

Table 4

**The mass spectrum of two Higgs bosons  $M_h, M_A$  of MSSM model**

$m_0$	$m_{1/2}$	$\tan \beta$	$A_0$	$M_h$	$M_A$
800	650	10	0	116	118
800	650	50	0	117	620
800	650	50	50	117	618
800	650	50	300	117	609
800	1500	10	0	120.9	205.5
800	2000	10	0	122.2	258.8
800	2500	10	0	123.1	311.8
2000	2500	10	0	123.2	356.5
2000	3000	50	0	124.2	212.1
3000	3000	30	0	124.7	385.7
3000	3000	25	0	124.8	407.7

One of the models of beyond the SM physics is the two-Higgs doublet (2HDM) model [15]. This model provides a solution to the hierarchy problem and predicts five Higgs bosons: two neutral CP-even Higgs bosons,  $h$  and  $H$ , one neutral CP-odd Higgs,  $A$  and two charged Higgs bosons,  $H^\pm$ . There are many experimental data connected with searches for extended sector

of Higgs bosons, one of which is the resonant Higgs boson production via the process  $pp \rightarrow H \rightarrow hh \rightarrow bb\tau\tau$ , where H is the CP-even Higgs boson of unknown mass, Figure 6.

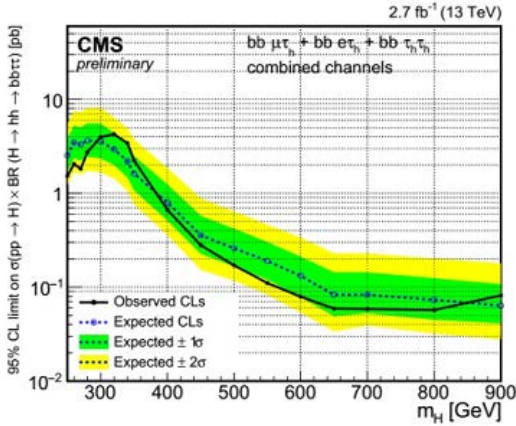


Figure 6. The upper limit on  $\sigma(pp \rightarrow H) \times BR(H \rightarrow hh \rightarrow bb\tau\tau)$  as the function of  $m_H$ , [16].

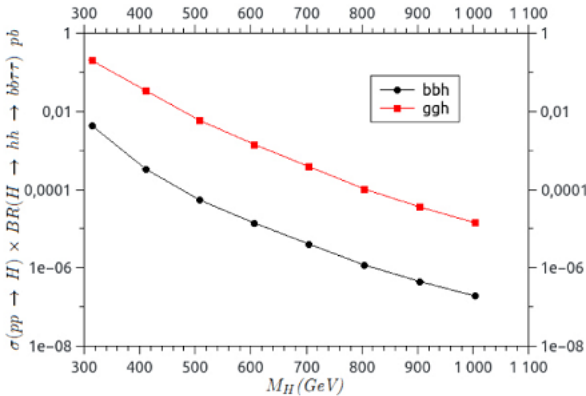


Figure 7.  $\sigma(pp \rightarrow H) \times BR(H \rightarrow hh \rightarrow bb\tau\tau)$  for the gluon-gluon fusion ( $gg\phi$ ) and b-associated production process ( $bb\phi$ ) at a center-of-mass energy of 14 TeV at the LHC

Using the computer program SusHi, we calculated  $\sigma(pp \rightarrow H) \times BR(H \rightarrow hh \rightarrow bb\tau\tau)$  for the gluon-gluon fusion ( $gg\phi$ ) and b-associated production process ( $bb\phi$ ) at a centre-of-mass energy of 14 TeV and  $\tan\beta = 2$  in the mass range  $M_H = 300 - 1000$  GeV, Figure 7.

Production via gluon-gluon fusion and b-associated production process and found the predominance of the ( $gg\phi$ ) process for small values of  $\tan\beta$ .

## 8. Conclusions

The paper is devoted to the study of the properties of D-branes and to the searches for new physics beyond the SM at the LHC. Since the properties of the D-brane are determined by the properties of the space of extra dimensions, which carries information about particles that are formed at high energies, the following work has been done to study this space using various mathematical methods:

- the instanton numbers for the three models of Calabi-Yau fourfolds are calculated and found new sequences of BPS states;
- Nakamura’s algorithm applied to calculate Gilbert’s scheme for orbifold  $C^3 / Z_n$ , which is associated with the procedure of blowing up of singularity. With module space represented in the form of a Gilbert scheme, a set of particles is associated;
- using the K-theory has made it possible to perform the calculations of Grotendick K-group by means of Clifford algebras do predict the decay of D3-brane into D5– and  $\overline{D5}$ -branes;
- in the framework of the theory of derived category using the triangulated categories it has been possible to calculate masses of pentaquarks and to elucidate the proton stability conditions;
- microscopic black holes in the deconfinement phase in the framework of AdS/CFT correspondence are considered. The matter content described by the supersymmetric Young-Mills theory is obtained;
- within the supersymmetric MSSM model using computer programs the following observables the following parameters are calculated: masses, widths of decays, production cross sections, histograms of mass distribution of superparticles;
- within 2HDM model the production of cross sections on branching fraction,  $\sigma(pp \rightarrow H) \times BR(H \rightarrow hh \rightarrow bb\tau\tau)$  at 14 TeV with the help of a computer program SusHi have been calculated.

**References:**

1. P.S. Aspinwall. D-branes on Calabi-Yau manifolds // e-print arXiv: hep-th/0403166.
2. A. Klemm, P. Mayr, C.Vafa. BPS states of exceptional non-critical strings. – Harvard, 1996. – 29 p. – (Preprint, HUTP-96/A031).
3. M.F. Atiyah, F. Hirzebruch. Vector bundles and homogeneous spaces // Amer. Math. Soc. Proc. Symp. Pure Math. – 1961. – 3. – P. 7–38.
4. K. Olsen, R. J. Szabo. Constructing D-branes from K-theory // Adv. Theor. Math. Phys. – 1999. – 3. – P. 889–1025.
5. M.R. Douglas. D-branes, categories and N=1 supersymmetry // J. Math. Phys. – 2001. – 42. – P. 2818–2843.
6. P.S. Aspinwall, A.E. Lawrence. Derived categories and zero-brane stability // JHEP. – 2001. – 0108:004. – 26 p.
7. ATLAS collaboration. Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC // Phys. Lett. B – 2012. – 716. – P. 1–29.
8. CMS collaboration. Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC // Phys. Lett. – 2012. – B716. – P. 30–61.
9. Hirzebruch. Topological methods in algebraic geometry. – New York: Springer-Verlag, 1966. – 280 p.
10. S.I. Gelfand, Yu.I. Manin. Homological algebra. – Berlin: Springer-Verlag, 1994. – 416 p.
11. A.V. Manohar, C.T. Sachrajda. Quark masses // Phys. Rev. – 2002. – D66. – P.010001.
12. N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali. Phenomenology, astrophysics and cosmology of theories with sub-millimeter dimensions and TeV scale quantum gravity // Phys. Rev. – 1999. – D59, N 8. – P. 086004.
13. L. Randall, R. Sundrum. A Large mass hierarchy from a small extra dimension // Phys. Rev. Lett. – 1999. – 83. – P. 3370–3373.
14. W. Schmid. Homogeneous complex manifolds and representations of semi-simple Lie groups // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1968. – 59, N1. – P. 56–59.
15. G.C. Branco et al. Theory and phenomenology of two-Higgs-doublet models // Phys. Rept. 2012, 516, p. 1–102.
16. CMS Collaboration. Search for resonant Higgs boson pair production in the bb  $\tau\tau$  final state // CMS-PAS-HIG-16-013.

Izdevniecība “Baltija Publishing”  
Valdeķu iela 62 – 156, Rīga, LV-1058  
E-mail: [office@baltijapublishing.lv](mailto:office@baltijapublishing.lv)

---

Iespiests tipogrāfijā SIA “Izdevniecība “Baltija Publishing”  
Parakstīts iespiešanai: 2020. gada 29. Maijā  
Tirāža 300 eks.