

ISSN 2220-4784  
ISSN 2663-8738



**ВІСНИК**  
**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**СЕРІЯ: Інноваційні дослідження у наукових роботах**  
**студентів**

**1'2024**

Харків  
НТУ «ХПІ», 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION  
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного  
технічного університету  
«ХПІ». Серія: Інноваційні  
дослідження у наукових  
роботах студентів**

№ 1'2024

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

**Bulletin of the National  
Technical University  
"KhPI". Series:  
Innovation researches in  
students' scientific work**

No. 1'2024

Collection of Scientific papers

The edition was founded in 1961

Харків  
НТУ «ХПІ», 2024

Kharkiv  
NTU "KhPI", 2024

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів** = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Innovation researches in students' scientific work: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2024. — № 1 (1367) 2024. — 92 с. — ISSN 2220-4784 (print), ISSN 2663-8738 (online).

Видання присвячене освітленню наукових та навчальних досягнень в галузі інтегрованих технологій, процесів та апаратів хімічної та харчової інженерії. Публікуються статті, що стосуються розробки технологій комплексного інноваційного навчання і науково-технічного творчості студентів; безперервного розвитку бази фундаментальних і професійних знань, а також організаційних навичок в процесі інноваційного проектування і розробки технологічних об'єктів різного рівня складності.

Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців галузі.

The main purpose is the publication of scientific works of students, lecturers and employees of higher educational establishments, which promotes the development of technologies of innovative teaching and scientific and technical creativity of students; contributes to the continuous development of the audience as a base of fundamental and professional knowledge, as well as organizational skills, in the process of innovative design and development of industrial technological objects of various levels of complexity.

It's a unique opportunity for companies, organizations and researchers to contribute to the advancement and development of up-to-date and progress scientific and technical issues related of Chemical Engineering.

Мова статей – українська, англійська.

Ідентифікатор медіа R30-02878, згідно з рішенням Національної ради

України з питань телебачення і радіомовлення від 01.02.2024 № 248.

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів** внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», включений до зовнішніх інформаційних систем, індексується Google Scholar; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

**Офіційний сайт видання:** <http://vestnik.kpi.kharkov.ua/idnrs>

#### Редакційна колегія серії

Головний редактор:

**Бухкало С.І.**, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний секретар:

**Мірошніченко Н.М.**, доц., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

**Арсеньєва О.П.**, проф., НТУ «ХПІ», Україна

**Подустов М.О.**, проф., НТУ «ХПІ», Україна

**Горбунов Л.В.**, доц., НТУ «ХПІ», Україна

**Зіпунніков М.М.**, к.т.н., с.н.с., ІПМаш НАН

України, с.н.с. відділу водневої енергетики

**Капустенко П.О.**, проф., НТУ «ХПІ», Україна

**Й. Клемеш**, проф., Керівник лабораторії

інтеграції сталого процесу, Вища технічна

техніка у Брно, Чеська Республіка

**П. Варбанов**, РНд, доц., с.н.с., Лабораторія

інтеграції сталого процесу, Технологічний

університет Брно, Чеська Республіка

**П. Стехлик**, РНд, проф., технологічний

університет, Брно, Чеська республіка

**З. Краванья**, проф., лабораторія системотехники и

устойчивого развития, Марибор, Словения

**Ф. Фридлер**, проф., Католический университет,

лабораторія Heriberto Cabezas, Будапешт, Венгрия

**Л. Пуиджанер**, профессор, доктор философии,

Политехнический университет Каталонии, кафедра

химического машиностроения, Барселона, Испания

**И. Плазл**, проф., факультет химии и химической

технологии, Университет Любляны, Любляна, Словения

**Лам Хон Лунг**, доктор философии (Chem Eng); (I.T.),

Ноттингемский университет, кампус Малайзии, кафедра

химической и экологической инженерии, Малайзия

#### Консультативна рада

**Сокол Є.І.**, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України,

НТУ «ХПІ», Україна

**Говоров П.П.**, д-р техн. наук, проф., ХНУМГ ім.

О.М. Бекетова, віце-президент НАН вищої освіти

України «Енергетика та ресурсозбереження»

**Кравченко О.В.**, д-р техн. наук, зав. відділу

нетрадиційних енерготехнологій, Інститут

проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного

НАН України

#### Editorial staff

Editor-in-chief:

**Bukhkalov S.I.**, prof., NTU "KhPI", Ukraine

Executive secretary:

**Miroshnichenko N.M.**, as. prof., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

**Arsenyeva O.P.**, dr. tech. sc., prof., NTU "KPI", Ukraine

**Podustov M.O.**, dr. tech. sc., prof., NTU "KPI", Ukraine

**Gorbunov, L.V.**, as. Profesor, NTU "KhPI", Ukraine

**Zipunnikov M.M.**, A.M. Pidhorny Institute of Mechanical

Engineering Problems of NASU

**Kapustenko P.A.**, prof., NTU "KhPI", Ukraine

**Jiří Jaromír Klemeš**, dr. sc., Prof., Head of Sustainable Process

Integration Laboratory, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta

strojního inženýrství, Brno, Czech Republic

**Petar Sabev Varbanov**, PhD, as. Professor, Senior Researcher,

Sustainable Process Integration Laboratory, Brno University of

Technology, Brno, Czech Republic

**Petr Stehlik**, dr. sc., Professor of Process Engineering, Director of

Institute of Process and Environmental Engineering at the Faculty of

Mechanical Engineering, University of Technology, Brno, Czech

Republic

**Zdravko Kravanja**, Professor, PhD., Faculty of Chemistry and

Chemical Engineering, Laboratory for Process Systems Engineering

and Sustainable Development, Maribor, Slovenia

**Ferenc Friedler**, Professor, PhD., Pázmány Péter Catholic

University, Heriberto Cabezas's Lab, Budapest, Hungary

**Luis Puigjaner**, Prof., PhD., Universitat Politècnica de Catalunya,

Department of Chemical Engineering, Barcelona, Spain

**Igor, Plazl**, prof., dr., Faculty of Chemistry and Chemical

Technology, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

**Lam, Hon Loong**, PhD (Chem Eng); PhD (I.T.), University of

Nottingham, Malaysia Campus, Dept. of Chemical and

Environmental Engineering, Malaysia

#### Advisory Board

**Sokol E.I.**, dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of

Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

**Govorov P.P.**, dr. tech. sc., prof., O.M. Beketov National

University of Urban Economy, vice-president of National

Academy of Sciences of higher education of Ukraine

**Kravchenko O.V.**, dr. Head of department of nonconventional

energy technologies Podgorny Institute for Mechanical Engineering's Problems of National Academy of Sciences of Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 6 від 05 липня 2024 р.

*O. V. YEFIMOV, M. M. PYLYPENKO, V. L. KAVERTSEV, T. A. HARKUSHA, I. D. SYDORKIN, O. V. CHYZHYK*

### COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNICAL, ECONOMIC, WEIGHT, AND SIZE CHARACTERISTICS OF HORIZONTAL AND VERTICAL STEAM GENERATORS FOR 1000 MW NUCLEAR POWER PLANT UNITS

A comparative analysis of the technical characteristics and parameters of horizontal and vertical steam generators for reactor installations with water coolant in modern 1000 MW NPP power units has been conducted. It is noted that the peculiarities of the design schemes and constructions of steam generators in NPP power units with water coolants are significantly influenced by the strong dependence between the coolant temperature at the steam generator inlet and the pressure in the reactor circuit. The dependencies of coolant and working substance temperature changes and the amount of heat transferred in steam generator elements have been considered. The t-Q diagram of a steam generator with a water coolant featuring a non-boiling economizer, evaporator, and superheater is presented. The parameters of water coolants and working substances in nuclear power plant steam generators are provided. The t-Q diagram for steam generators without a superheater section is shown, because in modern 1000 MW nuclear power plant units with steam generators which use water as the working substance in the steam-turbine cycle, saturated steam without superheating is used. This is because minor superheating of the steam does not significantly increase the efficiency of the steam-turbine cycle but requires significant complexity in the design of the steam generators. It is noted that the correct choice of their structural schemes is crucial in the creation of steam generators with water coolants. It has been proven that the characteristics determining the structural schemes of steam generators with water coolants are: the scheme of washing the heat exchange surface with the coolant, the form of the heat exchange surface, the layout of steam generator elements, the principle of working substance movement, and others. The technical characteristics of a horizontal-type steam generator for 1000 MW nuclear power plant units are presented, which have proven to be quite effective in operation. However, their designs and characteristics limit the potential for further improvement of the technical and economic indicators of nuclear power plants. It is noted that improving the technical and economic efficiency of 1000 MW nuclear power plant units while simultaneously reducing capital costs for their construction is possible by increasing the unit capacity of powerful vertical-type steam generators installed on them. Compared to horizontal steam generators, vertical steam generators allow for a more rational layout of the primary circuit equipment in the reactor department, thus reducing the volume and cost of construction and installation works. The main dimensions and weight characteristics of possible designs of vertical steam generators for nuclear power plants with VVER-1000 reactors are provided. It is concluded that once-through vertical steam generators with spiral wound heat exchange tubes and water coolant in the first circuit tubes weigh approximately 1.5 to 2 times less than vertical steam generators with natural circulation. It is determined that once-through vertical steam generators with a hydraulic scheme involving the movement of the working substance in the tubes and the water coolant in the inter-tube space significantly lag behind once-through vertical steam generators with water coolant in the tubes in terms of dimensional and weight characteristics and also vertical steam generators with natural circulation in terms of weight. It is concluded that for VVER-1000 nuclear power plants, the most promising of all options are vertical once-through steam generators with the movement of the water coolant in spiral wound heat exchanger tube bundles. These steam generators occupy approximately four times less area in the reactor department than horizontal ones with the same steam production, which significantly reduces construction costs for nuclear power plants.

**Keywords:** nuclear power plant units, horizontal and vertical type steam generators, technical and weight characteristics, steam parameters, water coolants, working substances.

#### Introduction

Reliability, technological safety, energy efficiency, and energy and resource conservation are the primary strategic components of modern nuclear energy. A systematic analysis of technological processes, designs, and technical characteristics of current and future nuclear power reactors and steam generators of various types is crucial for meeting the high functional requirements of modern and future nuclear power plant units, which must comply with stringent safety criteria. Steam production at nuclear power plants using water coolants occurs in steam generators. In addition to the thermophysical and physicochemical processes typical of conventional heat exchange units, neutron-physical processes also occur in steam generators, defining their uniqueness and classifying them into a special category. Currently, both horizontal and vertical designs of single-shell steam generators are successfully used in modern nuclear power plants with water coolants in different countries. It is known that "Energoatom" plans to complete the construction of the 3rd and 4th power units with a capacity of 1000 MW using VVER reactors and horizontal steam generators at the Khmelnytskyi Nuclear

Power Plant, and to construct four new 1000 MW power units using Westinghouse technology (AP 1000) with vertical steam generators at the Khmelnytskyi and South Ukraine Nuclear Power Plants. Consequently, a comparative analysis of the technical characteristics and parameters of horizontal and vertical steam generators for reactor installations with water coolants is relevant.

#### Purpose of the Work

The purpose of this article is to conduct a comparative analysis of the technical, economic, weight and size characteristics and parameters of horizontal and vertical steam generators for pressurized water reactor installations of nuclear power plant units with a capacity of 1000 MW, and to evaluate their impact on mass-dimensional indicators, installation features, and the reliability of power unit.

#### Main Material Presentation

The strong correlation between the inlet temperature of water coolants  $t_1$  and their pressure  $P_1$  in the reactor circuit significantly influences the design and

© Yefimov O.V., Pylypenko M.M., Kavertsev V.L., Harkusha T.A., Sydorkin I.D., Chyzhyk O.V., 2024

construction of steam generators for 1000 MW nuclear power plant units using water coolants (an increase in pressure sharply increases the temperature and vice versa). For technical and economic reasons, the pressure of water coolants in reactor circuits is typically limited to 17-20 MPa [1–3].

In water-cooled reactors, boiling of water in the circuit (except for surface boiling) is not permitted. Thus, there is a certain underheating of the water coolant  $\delta t_{unh}$  to the saturation temperature  $t_{s1}$  corresponding to the pressure  $P_1$  at the reactor outlet [4]. The temperature of the water coolant at the exit from the reactor (at the entrance to the steam generator)  $t'_1 = t_{s1} - \delta t_{unh}$ . The maximum possible temperature of the working fluid (steam)  $t''_2$  at the steam generator outlet is determined by the temperature  $t'_1$  and the temperature head  $\Delta t_{tm}$  at the coolant inlet to the steam generator  $t'_2 = t'_1 - \Delta t_{tm}$ . An important characteristic of the working fluid is the saturation temperature  $t_{s2}$  at a certain pressure  $P_2$  in the evaporator, one of the steam generator elements. This value is determined by the coolant temperature  $t_{ev}$  and the temperature head  $\Delta t_{ev}^{out}$  at the evaporator outlet. Generally, the coolant cools sequentially through the superheater, evaporator, and economizer to reach the final temperature at the outlet  $t''_1$ , respectively by the values  $\delta t_{sh}$ ,  $\delta t_{ev}$ ,  $\delta t_{ec}$ . The temperature of the heat carrier at the outlet of the evaporator

$t_{ev} = t'_1 - \delta t_{sh} - \delta t_{ev}$ , and the saturation temperature of the working fluid in it  $t_{s2}(P_2) = t_{ev} - \delta t_{ev}^{out}$ .

The change in coolant and working fluid temperatures and the amount of heat transferred in the steam generator elements is depicted in the t-Q diagram. The diagram plots characteristic temperatures for each steam generator element on the ordinate axis and the amount of transferred heat in the economizer  $Q_{ec}$ , evaporator  $Q_{ev}$ , and superheater  $Q_{sh}$  on the abscissa axis (Fig. 1).

Table 1 presents some values of water coolant and working fluid parameters in steam generators of nuclear power plants, obtained using a mathematical model of steam generators [4, 5], indicating that with the saturated steam pressure values generated 3,7÷8,8 MPa, the possible superheat is small, around 30°C.

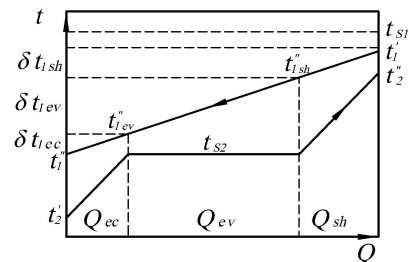


Fig 1 – t-Q- diagram of a steam generator with a water coolant with an economizer non-boiling type, evaporator and superheater

Table 1 – The value of the parameters of water coolants and the working substance in steam generators of nuclear power plants

Parameter	Value		
The pressure of the coolant at the entrance to the steam generator, MPa	10,0	14,0	20,0
The temperature of the coolant at the entrance to the steam generator, °C	284	310	340
Coolant temperature at the outlet of the evaporator °C	264	290	320
Temperature pressure at the outlet of the evaporator °C	20	20	20
Saturated vapor pressure, MPa	3,7	5,6	8,8
Temperature of saturated steam, °C	244	270	300
Possible output steam temperature from the steam generator, °C	274	300	330
Overheating of the steam is possible, °C	30	30	30

Significant superheating of steam in steam generators with water coolants can be achieved at lower saturated steam pressures, which is not economically efficient for the nuclear power plant's steam-turbine cycle. Small superheating of steam does not significantly increase the steam-turbine cycle's efficiency but requires substantial complication of steam generator designs. Therefore, in modern 1000 MW nuclear power plant units with steam generators using water coolants, saturated steam without superheating is used as the working fluid of the steam-turbine cycle, and the t-Q diagram for these steam generators does not have a superheater (Fig. 2).

This diagram  $Q_{nb.ec}$  and  $Q_{b.ec}$  shows the quantities of heat transferred in the non-boiling and boiling sections of the economizer.

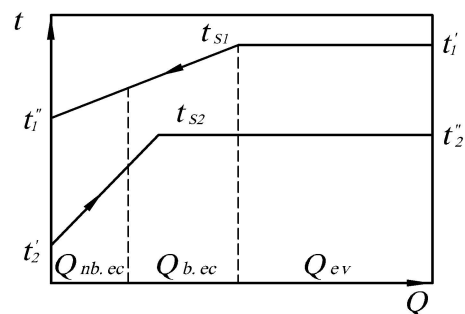


Fig 2 – t-Q- diagram of a steam generator with a water coolant of modern nuclear power plants

Correct selection of the design schemes of steam generators with water coolants is crucial in their creation.

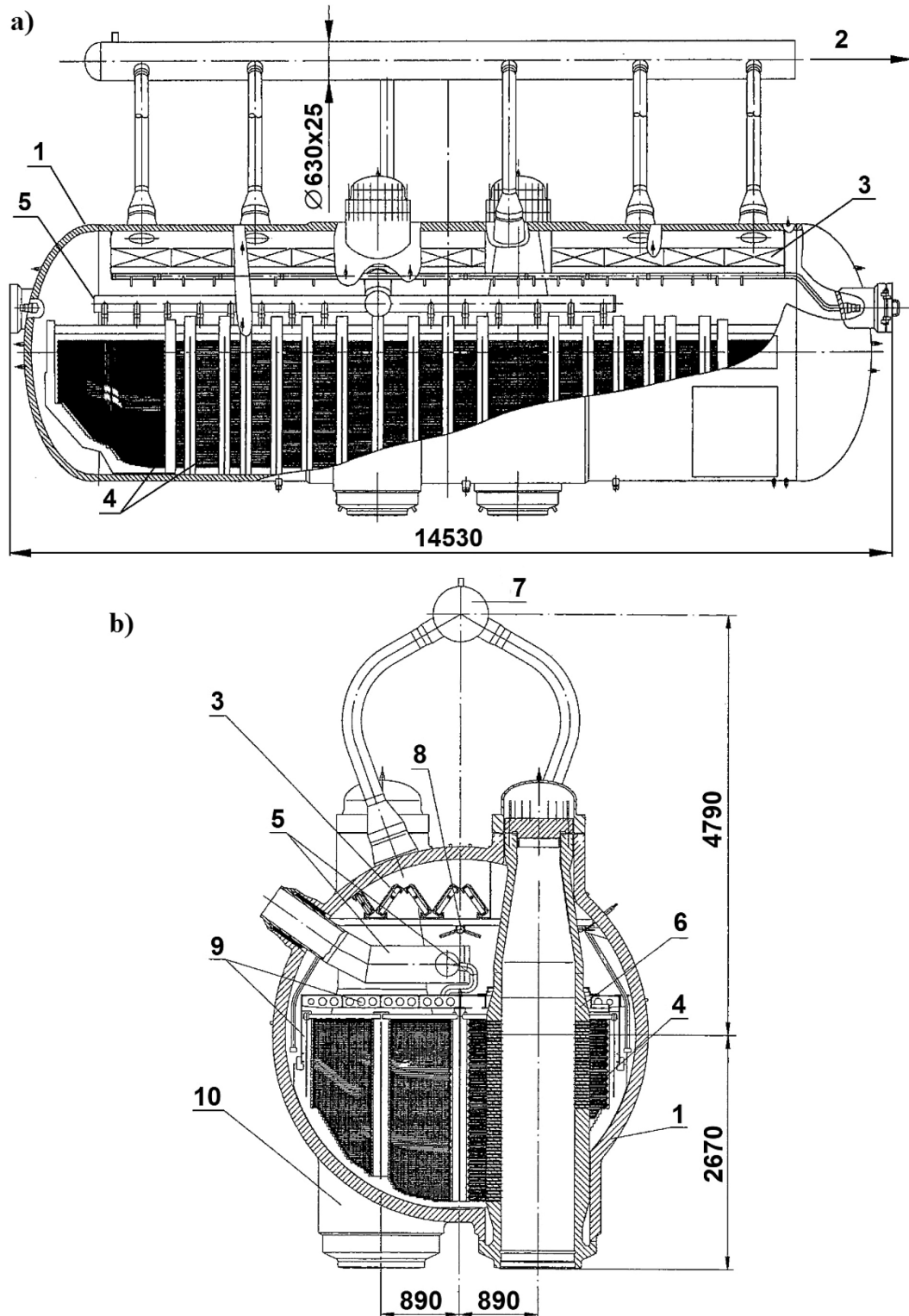


Fig. 3 – Horizontal type steam generator for VVER -1000:

a) – longitudinal section,

b) – cross-section,

1 – vessel; 2 – steam outlet; 3 – chevrons of the separator unit; 4 – heat exchange tube bundle; 5 – supply of feed water; 6 – outlet header; 7 – steam header; 8 – supply of auxiliary feed water; 9 – tube bundle support; 10 – inlet header [7]

Table 2 – Technical characteristics of the PGV-1000M steam generator [4, 5, 7]

Parameter	Value and permissible deviation
Thermal capacity, MW	750+53
Steam productivity, t/h	1470+103
Pressure of generated steam, MPa	6,3±0,2
Temperature of generated steam, °C	278±2
Feed water temperature, °C	220±5
The temperature of the feed water when the high-pressure heaters are turned off, °C	164±4
Emergency feed water temperature, °C	5÷40
The pressure of the coolant of the first circuit at the entrance to the steam generator, MPa	15,7±0,3
The temperature of the coolant of the first circuit, C: - at the entrance - at the exit	320±3,5 289±2
Nominal boiler water level, mm: - by a one-meter spirit level - on a four-meter level - on the "cold" end of the steam generator - on the "hot" end of the steam generator	220÷320 270÷320 2250±50 2100±50
Resistance of the steam generator on the first circuit during the operation of the four main circulation pumps, MPa	0,125
Steam generator resistance along the steam-water path at nominal steam productivity, MPa	0,110
Humidity of steam at the exit from the steam generator, %	0,2
Consumption of flushing water, t/h: - continuous blowing - periodic blowing	7,5 14,5
Maximum calculated pressure, MPa: - steam heat carrier, - which is generated	17,6 7,8
Maximum calculated temperature °C: - steam heat carrier, - which is generated	350 300
The wall temperature of the elements of the first and second circuits during hydrotests is not less than °C	70
Pressure hydrotests for strength: - along the first contour, MPa - along the second contour, MPa	24,5±0,2 10,8±0,1
Steam generator capacity, m <sup>3</sup> : - along the first contour - along the second contour	23,4 124,6
Weight of dry steam generator, kg	320000

Characteristics determining the design schemes include the coolant flow scheme over the heat exchange surface, the shape of the heat exchange surface, the layout of steam generator elements, and the principle of working fluid movement. During the design process, the selection and justification of each characteristic are consistently carried out [4]. Horizontal steam generators installed at nuclear power plants with VVER-1000 (Fig.3) reactors have proven to be very effective [6, 7]. Their technical characteristics are presented in Table 2. However, their designs and characteristics limit the possibilities for further improving the technical and economic indicators of nuclear power.

One way to enhance the technical and economic efficiency of power plants is to increase the unit capacity of the equipment installed, including steam generators, while reducing capital construction costs [6]. For 1000 MW nuclear power plant units with VVER-type reactors, this can be achieved by using powerful vertical-type steam generators. Compared to horizontal steam generators, vertical ones allow more efficient arrangement of first-circuit equipment in the reactor section, thereby reducing construction and installation costs [6, 7].

The main dimensions and mass characteristics of possible vertical steam generator designs for 1000 MW nuclear power plant units with VVER-type reactors (Fig.4) are presented in Table 3. The analysis of this data allows for certain conclusions.

The main drawbacks of powerful vertical single-shell steam generators with water coolants and natural circulation are complex construction, large masses, and significant overall.

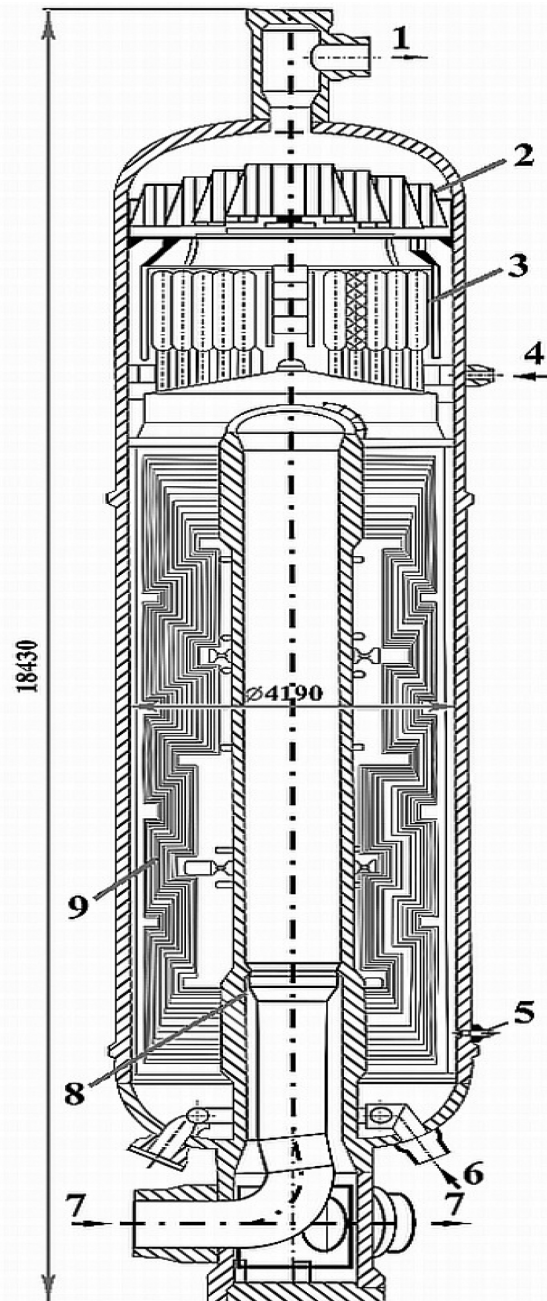


Fig. 4 – Steam generator with header tube fixation

1 – steam; 2, 3 – chevron and swirl-vane separators; 4 – supply of auxiliary feed water;  
5 – continuous blow down nozzle; 6 – feed water; 7 – coolant; 8 – header; 9 – tube bundle platen [7]



These drawbacks are largely eliminated in vertical once-through steam generators with water coolants (Fig.5). The transition to a once-through scheme and the abandonment of separation devices significantly simplifies the design, improves mass and dimensional characteristics, and facilitates transportation.

Vertical once-through steam generators with helically wound heat exchange tubes and water coolants in the first circuit tubes weigh approximately 1.5–2 times less than vertical steam generators with natural circulation.

Table 3 – The main dimensions and mass-dimensional characteristics of vertical steam generators with a water coolant for nuclear power plants with reactors of the VVER-1000 type [7]

Parameter	Steam generators with natural circulation		Once-through steam generators		
	single hull	with a removable separator	with coolant in spirally twisted tubes	with the coolant in the pipe space	with coolant in straight tubes
Standard size of tubes of heat exchange surfaces, mm	12×1,2	12×1,2	12×1,2	12×1,2	14×1,4
The total number of tubes of heat exchange surfaces, mm	34950	33120	31100	28400	20800
Internal diameter of the steam generator body, m	5,85	3,910 <sup>3</sup>	3,6	3,75	3,8
Weight of the steam generator, kg	900000	900000	450000	930000	500000
Specific mass of the steam generator (per unit of electric power produced by the power unit), kg/MW	1,80·10 <sup>3</sup>	1,82·10 <sup>3</sup>	0,9·10 <sup>3</sup>	1,86·10 <sup>3</sup>	1,00·

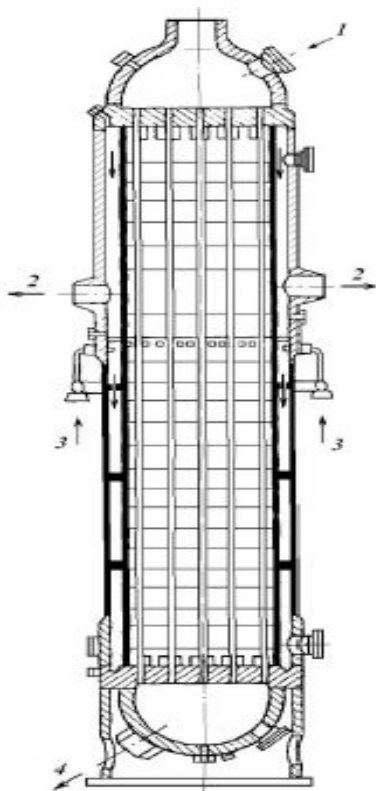


Fig. 5 – Once-through vertical steam generator with water coolant in direct heat exchange tubes:  
1 – coolant input; 2 – outlet steam; 3 – feed water input;  
4 – coolant outlet [7]

In vertical once-through steam generators with helically wound heat exchange tubes, the heat exchange surface is made of two helically wound bundles connected to the central collector.

The bundles are included in parallel for the water coolant flow inside the tubes and in series for the

working fluid movement, which flows from bottom to top in the inter-tube space. A special system of internal collector devices organizes the coolant movement so that heat exchange in both bundles follows a counterflow scheme. To ensure equal diameters of the helically wound heat exchange bundles, the coolant flow rates in the upper and lower bundles are the same, each accounting for 50% of the total flow rate. Vertical once-through steam generators with the working fluid moving in the tubes and the water coolant in the inter-tube space are significantly inferior in overall and mass characteristics to those with water coolants in the tubes, and in mass also to vertical steam generators with natural circulation.

To ensure the safe operation of 1000 MW nuclear power plant units with vertical steam generators where water coolants move in the inter-tube space, systematic control over the condition of the internal surfaces of the steam generator shells is necessary. The design of the flange joint, allowing for disassembly for systematic control, complicates the steam generators' design and reduces their reliability. Additionally, lifting the covers of steam generator shells with collectors and heat exchange bundles requires a crane with a lifting capacity of at least 500 tons and sufficient space in the main building, increasing both the building height and installation costs.

Vertical once-through steam generators with the water coolant moving in straight heat exchange tubes and flat tube sheets are comparable in overall dimensions and height to those with helically wound tubes, but they have a larger internal diameter of the shell. The principal design scheme of these steam generators is mainly determined by the chosen method of self-compensation for thermal expansions of the tubes and shell.

A comparative analysis of the main mass and dimensional characteristics of possible vertical steam

generator designs for VVER-1000 nuclear power plants, considering manufacturing, installation, and operating conditions, indicates that the most promising option is the vertical once-through steam generator with helically wound heat exchange tube bundles.

In fig. 6 presents the design of a vertical steam generator for a 1000 MW NPP power unit (AP 1000) using Westinghouse technology, which in its technical characteristics is close to the design of a vertical steam generator for VVER-1000 and has the same advantages compared to a horizontal steam generator.

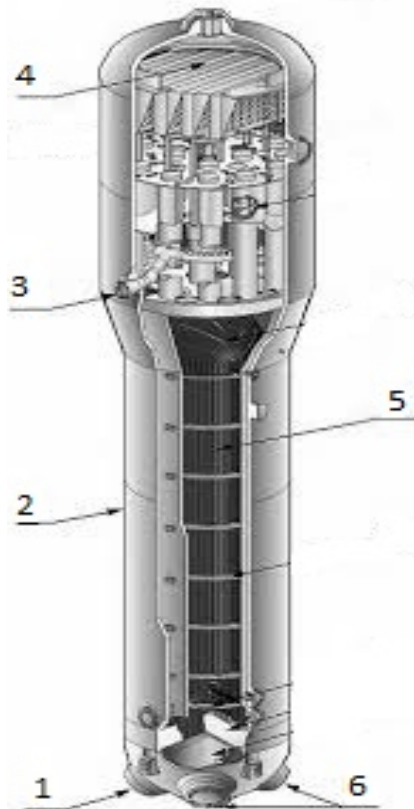


Fig. 6 – Steam generator for nuclear power plants with AP-1000:

1 – coolant input collector; 2 – frame; 3 – feed water distribution collector; 4 – separator; 5 – heat transfer surface; 6 – coolant outlet collector [7].

### Conclusions

Currently, in various countries, both horizontal and vertical designs of single-shell steam generators are successfully used in modern 1000 MW nuclear power plant units with water coolants. Both designs are quite similar in their technical characteristics and reliability indicators. However, vertical steam generators occupy approximately four times less area in the reactor section compared to horizontal ones with the same steam production capacity, which significantly reduces construction costs for nuclear power plants.

### Список літератури

1. Issues for Nuclear Power Plants Steam Generators/ Lucia Bonavigo and Mario De Salve // Steam Generator Systems: Operational Reliability and Efficiency. London: – IntechOpen. 2011. – Pp. 326–392.
2. Riznic J. Steam Generators for Nuclear Power Plants / Jovica Riznic. // Soston, Great Britain : Woodhead Publishing 2017. – 670 p.
3. Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Steam Generators / M.Brezina, A.Drexler,L.Hongyun and others./International Atomic Energy Agency. –Vienna: – Vienna International Centre. 2011. –273p.
4. Єфімов О. В., Каверцев В. Л., Потаніна Т. В., Гаркуша Т. А., Єсіпенко Т. О. Математична модель горизонтального парогенератора типу ПГВ-1000 енергоблоку АЕС з ВВЕР/ О. В. Єфімов, В. Л. Каверцев, Т. В. Потаніна, Т. А. Гаркуша, Т. О. Єсіпенко // Вісник НТУ «ХП». Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків: – 2014. – № 13(1056). – С. 92–102.
5. O. Efimov, M. Pylypenko, T. Potanina, at al. Materials and decision support systems in the nuclear power industry. / O. Efimov, M. Pylypenko, T. Potanina, V. Kavertsev, T. Yesypenko, T. Harkusha, T. Berkutova / Riga, Latvia, European Union: – “LAMBERT Academic Publishing” – 2020. – 135 p.
6. Фольтов І. М. Підвищення надійності парогенераторів АЕС шляхом удосконалення водно-хімічного режиму другого контуру, проведення модернізації і реконструкції/ І. М. Фольтов // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – Київ: – 2004. – Вип. 1.– С. 94–104.
7. Єфімов О. В. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, матеріали, конструкції, моделі / О. В. Єфімов, М. М. Пилипенко, В. Л. Каверцев, Т. А. Гаркуша; за ред. О.В. Єфімова / Харків : «В справі». 2017.– 420 с.

### References (transliterated)

1. Issues for Nuclear Power Plants Steam Generators/ Lucia Bonavigo and Mario De Salve // Steam Generator Systems: Operational Reliability and Efficiency. – London: – IntechOpen – 2011. – Pp.326-392.
2. Riznic J. Steam Generators for Nuclear Power Plants / Jovica Riznic. // Soston, Great Britain : – Woodhead Publishing – 2017. – 670 p.
3. Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Steam Generators / M.Brezina, A.Drexler,L.Hongyun and others./International Atomic Energy Agency. –Vienna: – Vienna International Centre –2011. –273p.
4. Єфімов О. В., Каверцев В. Л., Потаніна Т. В., Гаркуша Т. А., Єсіпенко Т. О. Математична модель горизонтального парогенератора типу ПГВ-1000 енергоблоку АЕС з ВВЕР/ О. В. Єфімов, В. Л. Каверцев, Т. В. Потаніна, Т. А. Гаркуша, Т. О. Єсіпенко// Вісник НТУ «ХП». Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків: – 2014. – № 13(1056). – С. 92–102.
5. O. Efimov, M. Pylypenko, T. Potanina, at al. Materials and decision support systems in the nuclear power industry. / O. Efimov, M. Pylypenko, T. Potanina, V. Kavertsev, T. Esipenko, T. Harkusha, T. Berkutova / Riga, Latvia, European Union: – “LAMBERT Academic Publishing” – 2020. – 135 p.

6. Fol'tov I. M. Pidvishhennja nadijnosti parogeneratoriv AES shljahom udoskonalennja vodno-himichnogo rezhimu drugogo konturu, provedennja modernizacii i rekonstrukcii / I. M. Fol'tov // Problemi bezpeki atomnih elektrostancij i Chornobilja. –Kiiv: – 2004. –Vip. 1.– Pp. 94–104.
7. Єфімов О. В. Реактори і парогенератори енергоблоків AES: shemi, procesi, materiali, konstrukcii, modeli / О. В. Єфімов, М. М. Пилипенко, В. Л., Каверцев., Т. А. Гаркуша; за ред. О.В. Єфімова./– Kharkiv :–«V spravi» – 2017.– 420 p.

Надійшла (received) 19.07.2024

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Єфімов Олександр В'ячеславович (Yefimov Olexandr)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

e-mail: AVEfimov22@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3300-7447>.

**Пилипенко Микола Миколайович (Pylypenko Mykola)** – доктор технічних наук, завідувач Національної «Науково- дослідної лабораторії фізики цирконію і технології чистих металів», Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8113-8578>.

**Каверцев Валерій Леонідович (Kavertsev Valerii)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

e-mail: kavertseff@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9472-1658>.

**Гаркуша Тетяна Анатоліївна (Harkusha Tatyana)**, науковий співробітник кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» м. Харків, Україна;

e-mail: Tetiana.Harkusha@khp.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0198-0210>.

**Сидоркін Ігор Дмитрович (Sydorkin Igor)** – аспірант кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

e-mail: [Ihor.Sydorkin@ieec.khpi.edu.ua](mailto:Ihor.Sydorkin@ieec.khpi.edu.ua), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5563-8579>.

**Чижик Олександр Володимирович (Chyzyk Olexandr)** – аспірант кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

e-mail: [a.v.chizhik@gmail.com](mailto:a.v.chizhik@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3638-3173>.

**О. В. ЄФІМОВ, М. М. ПИЛИПЕНКО, В. Л. КАВЕРЦЕВ, Т. А. ГАРКУША, І. Д. СИДОРКІН,  
О. В. ЧИЖИК**

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ І МАСОГАБАРИТНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТА ВЕРТИКАЛЬНИХ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ  
ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС ПОТУЖНІСТЮ 1000 МВт**

Виконано порівняльний аналіз технічних характеристик і параметрів горизонтальних і вертикальних парогенераторів для реакторних установок з водним теплоносієм сучасних енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт. Зазначено, що на особливості конструктивних схем і конструкцій парогенераторів енергоблоків АЕС з водними теплоносіями великий вплив робить існування сильної залежності між температурою цих теплоносіїв на вході в парогенератор та їх тиском в контурі реактора. Відмічено, що конструкції і характеристики горизонтальних парогенераторів енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт обмежують можливості подальшого підвищення техніко-економічних показників. Визначено, що прямотечійні вертикальні парогенератори з гідравлічною схемою, що передбачає рух робочої речовини в трубках, а водного теплоносія – в міжтрубному просторі, за своїми габаритними і масовими характеристиками значно поступаються прямотечійним вертикальним парогенераторам з водним теплоносієм в трубках, а за масою – також і вертикальним парогенераторам з природною циркуляцією. Визначено, що для АЕС з ВВЕР-1000 найбільш перспективними зі всіх варіантів є вертикальні прямотечійні парогенератори з рухом водного теплоносія в спіральновитих теплообмінних трубних пучках. Ці парогенератори займають площу в реакторному відділенні приблизно в 4 рази меншу, ніж горизонтальні такої ж паропроductивності, що істотно знижує витрати на будівництво АЕС.

**Ключові слова:** енергоблоки АЕС, парогенератори горизонтального і вертикального типів, технічні і масогабаритні характеристики, параметри пари, водні теплоносії, робочі речовини.

**О. І. ПЕЛИПЕНКО, В. М. САВИК, С. І. БУХКАЛО, О. О. АГЕЙЧЕВА,**

## **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ У ПРИКЛАДАХ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИН**

У матеріалах статті розглянуті приклади можливостей для визначення цілей інтегрованого дослідження закольматованих бурових установок. Проаналізовано причини зниження проникності, що відбувається в процесі спорудження свердловини та експлуатації. Визначено причини зниження проникності призабійної зони пласта порід-колекторів, що відбуваються у процесі буріння, цементування, вторинного розкриття та освоєння свердловин. Досліджено основні принципи розробки, аналізу та проведення процесів відновлення з застосуванням сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій, наприклад, синергетичних процесів із важковидобувними запасами нафти як критерій оцінювання ефективності інтегрованого дослідження. Інтегровані дослідження визначені як від різновидів аналізу класифікації-ідентифікації, загальних понять та вимог до різновидів методології визначення показників рівня якості та їх оцінки через вибір алгоритмів аналізу та розрахунків на різних стадіях виробництва. Проведено аналіз математичних моделей підвищення якості інтегрованого дослідження бурової установки за рахунок використання нових робочих агентів й удосконалення технології.

**Ключові слова:** математичні моделі, синергетичні процеси, продуктивність свердловини, привибійна зона пласта, хімічні методи, забруднення.

### **Вступ.**

За даними Державної служби статистики, найбільш помітне зниження було у 2016 році – на 11,1% щодо попереднього року та у 2015 році – на 10%. У 2013 році видобуток нафти в Україні становив 2,2 млн т, наступні роки обсяги рахували без даних з тимчасово окупованих Криму та територій Донецької, Луганської областей. За результатами 2014 року обсяги видобутку скоротилися на 2 млн т (-9,1%). У 2017 році вже видобували 1,5 млн т нафти. У 2019 році видобуток зріс на +6,2% – до 1,7 млн т. У 2020 році показник був аналогічний. Протягом січня-серпня 2021 року в Україні видобули 1,1 млн т нафти. Найбільші обсяги у 2021 році були у травні (142,3 т) та серпні – 141,7 т, що на 1,2% більше, ніж у серпні минулого року.

Наприкінці 2020 року обсяги запасів сирової нафти в Україні нараховували 85 млн т. З них половина припадає на Східний регіон (Дніпропетровська, Полтавська, Харківська, Чернігівська, Сумська, Донецька, Луганська обл.). Ще третина зосереджена у Західному – на території Львівської, Івано-Франківської, Закарпатської, Волинської, Чернівецької областей. 13% нафти знаходиться у Південному регіоні (Запорізька, Одеська області, шельф Азовського, Чорного моря, тимчасово окупований Крим).

Наразі в Україні існує понад 200 родовищ, однак майже всі вони невеликі. З них у нафто-газовій промисловості розробляється 82%. Поки що ця сфера не має суттєвого росту. Наприклад, протягом чотирьох років (2018–2021 рр.) загальний видобуток нафти в Україні майже не мінявся і становив 1,6–1,7 млн т. У період війни загострюються проблеми сьогодення – ресурсні війни та демографічні зміни, екологічні виклики та впливи на навколишнє середовище, що, у свою чергу, підсилює можливість загроз сировинної турбулентності на ринку та ускладнює характер її прояву.

Як відомо [1–3] з різновидів джерел інформації, максимальний видобуток нафти і газу за родовищами України припав на середину 70-х років, наприклад, у 1973 році – 13.2 млн т, причому частка лише двох родовищ, розташованих у Прилуцькому нафтогазовому регіоні, Гнідинцівського та Лесяківського, становила близько 8 млн т нафти. Максимальний видобуток природного газу в 1975 році склав 68,7 млрд м<sup>3</sup>. У 2016 році видобуток нафти скоротився до 1.8 млн т, а газу до 19,9 млрд м<sup>3</sup>, що обумовлено, перш за все, значною виснаженістю найбільших родовищ і не залученням до розробки менших запасів покладів. В той же час, аналіз наукової літератури свідчить, що в теорії інтегрованого дослідження управління раціонального видобутку нафти і газу залишаються невирішеними питання врахування факторів ринкової турбулентності під час прийняття управлінських рішень, недостатньо досліджені технологічні аспекти взаємозв'язків чинників обладнання та вартісними показниками видобутку, що обумовлює актуальність дослідження, його мету, завдання та зміст.

Основні науково-практичні напрямки вирішення означених проблем можна ідентифікувати як:

1) введення у розробку нових нафтогазових родовищ за рахунок збільшення обсягів геолого-розвідувального та експлуатаційного буріння;

2) збільшення коефіцієнта вилучення нафти і газу із покладів вуглеводнів за рахунок ефективного використання сучасних технологій та обладнання на вже розвіданих та діючих родовищах.

Це стосується як будівництва нових свердловин, так і до законсервованих та недіючих з різних причин нафтогазових закольматованих свердловин, яких в Україні значна кількість (до 5–7 тис.) за даними різних дослідників. Необхідно відзначити важливу перевагу в тому, що закольматовані родовища вже

© Пелипенко О.І., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О., 2024

облаштовані логістичними системами, наприклад, мають діючу інфраструктуру для видобутку, підготовки та транспортування нафти, газу та конденсату до кінцевого споживача, та запасів вуглеводнів, що дозволяє за значно менших витрат і за рахунок використання сучасних технологій підвищити ступінь вилучення вуглеводневої сировини з важкодоступних і виснажених родовищ України [4]:

1) у структурі запасів вуглеводнів постійно збільшується частка важковидобувних запасів, освоєння яких у сучасних економічних умовах пандемії та війни пов'язане зі значними різновидами ризиків для життя та інвестицій;

2) розробка родовищ із важковидобувними запасами нафти здійснюється у умовно безпечних регіонах України низькими темпами і, як свідчить досвід, кінцева нафтовіддача продуктивних пластів цих родовищ не перевищує 30 % від початкових балансових їх запасів.

**Постановка науково-практичного дослідження.**

**1. Аналіз можливостей інтегрованих складових дослідження за ієрархією класифікації-ідентифікації різновидів джерел інформації.**

Проблемі дослідження геології, геохімії, гідрогеології та ресурсного забезпечення нафтогазовидобувної галузі України присвятили свої роботи науковці В. Сельський, В. Порфїрьєв, С. Суботін, М. Ладижинський, Ю. Арсірій, Г. Доленко, В. Гавриш, В. Забігайло, О. Лукін, М. Євдошук, М. Павлюк, І. Наумко, І. Чебаненко, П. Шпак, Б. Маєвський, О. Істомін, Е. Чекалюк, М. Багрій, В. Суярко, О. Барташук та ін.

Геологорозвідувальні роботи з пошуків родовищ нафти і газу та видобуток вуглеводневої сировини в Україні здійснюється у трьох регіонах: Східному (Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) і Донбас), Західному (Волино-Подільська плита, Передкарпаття, Карпати та Закарпаття) і Південному (Переддобруддя, Причорномор'я, Крим та відповідні сектори акваторій Чорного і Азовського морів [4].

Класифікація-ідентифікація за основними параметрами літературних джерел інформації характеристик нафтового родовища: геологічна будова площі родовища; розміщення локальної структури стосовно структур вищого порядку, наявність різних структурних планів, характеристика продуктивних горизонтів і флюїдоупорів, типи та кількість пасток і покладів, фазовий стан вуглеводнів у покладах, запаси, їх густина за площею та ін.

Нафтове родовище може об'єднувати кілька структурних поверхів, що значно ускладнює його розвідку і розробку та вимагає вивчення збігів у плані контурів покладів між собою і з контурами структур. Промислова цінність родовища – комплекс гірничо-геологічних, економіко-географічних і соціально-економічних параметрів нафтового (газового) родовища, який визначає господарську ефективність процесів видобування нафти (газу).

**2. Приклади інтегрованого дослідження.**

Одним із шляхів інтегрованого дослідження з підвищення ефективності буріння свердловин пізніх стадій експлуатації є вдосконалення контролю за процесом буріння, зокрема, за енергетичними показниками роботи приводу ротора бурових установок. Наявність точної інформації про енергетичні показники приводу ротора бурової установки створить умови для підвищення ефективності буріння, особливо при бурінні свердловин у складних геологічних умовах. Основним технічним завданням, на вирішення якого спрямована модернізація пневматичних клинових захватів, є створення такої конструкції, яка виключила б передачу великих крутних моментів через вкладиші, дозволила б передавати крутний момент при відхиленні від співвісності ведучої труби і прохідного отвору ротора, забезпечувала б силове центрування затискача з ведучою трубою клинами при неспіввісності клина і поглиблення під клин в затисках ведучої труби, забезпечувала б зниження контактного тиску між затискачем і ведучою трубою і очищення зовнішньої поверхні ведучої труби при виході із свердловини.

**3. Класифікація-ідентифікація та аналіз синергетичних процесів із важковидобувними запасами нафти як критерій оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.**

Інтегровані дослідження визначені як удосконалення обладнання бурової установки з метою представлення можливостей суттєвого синергетичного збільшення ефективності буріння свердловин, а також це дослідження геомеханіки, геофізики, проектування та конструкції свердловин, бурових інструментів та обладнання, бурових рідин та цементування, георесурсів та їх оцінка, видобуток та транспортування георесурсів, стабілізація видобутку вуглеводнів, екологічні та економічні аспекти буріння та георесурсів, новітні досягнення та перспективи розвитку буріння та георесурсів та інші характеристики (табл. 1). Проблема кольматації колекторів досить поширена – для її вирішення провідні фахівці України та світу розробляють нові методи й технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів. Аналіз значної кількості джерел дозволив визначити основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесі їх буріння та експлуатації методом кислотних обробок [1–6].

Наприклад, на території Дніпровсько-Донецької западини близько двадцяти свердловин на високоперспективних розвіданих родовищах не дають продукцію в результаті кольматації продуктивних пластів при бурінні. У той час, коли геофізичні дослідження у свердловині показують, що фільтраційно-ємнісні характеристики колектора високо ефективні, горизонти є продуктивними в сусідніх свердловинах, але в результаті репресії на пласт виникає значне проникнення твердої фази у пласт, утворення емульсій та, наприклад,

полімеризація реагентів, що призводить до цільової продукції за прикладами інтегрованого засмічення привибійної зони пласта і свердловина дослідження (табл. 2). виявляється мало дебітною або взагалі не дає

Таблиця 1 – Вибір загальних характеристик наукового обґрунтування основних складових видобутку на пізній стадії експлуатації за різновидами прикладів родовищ

1	Ієрархія визначення моделей стабілізації видобутку вуглеводнів за факторами впливу з метою підвищення продуктивності та віддачі пластів.
2	Визначення та аналіз моделей технологічного, економічного та екологічного аспектів технології за різновидами стадій експлуатації та впливу на навколишнє середовище.
3	Обґрунтування можливостей вибору типів пристроїв, бурових інструментів та обладнання для заданої свердловини за синергетичними параметрами..
4	Класифікація-ідентифікація розрахунків ієрархії параметрів бурових рідин для заданої свердловини об'єкту виробництва відповідно до НТД.
5	Класифікація-ідентифікація та аналіз параметри бурових рідин та цементування для заданої свердловини об'єкту виробництва відповідно до НТД..
6	Стимулювання родовищ за допомогою гідравлічного розривання, кислотного оброблення, термічного впливу та комп'ютерних моделювань як варіанти синергетичних процесів.
7	Ієрархія процесів буріння в складних геологічних умовах за допомогою систем керованого та вертикального буріння, з використанням комп'ютерних методів контролювання..
8	Ідентифікація процесів буріння в складних геологічних умовах за допомогою систем з використанням альтернативних джерел енергії та методів математичного моделювання.
9	Класифікація-ідентифікація та аналіз параметри буріння в різновидах неконвенційних джерелах за допомогою горизонтального буріння, буріння з використанням штучного інтелекту,
10	Класифікація-ідентифікація та аналіз параметри буріння в неконвенційних джерелах за допомогою буріння з використанням інноваційних нанотехнологій,
11	Класифікація-ідентифікація та аналіз ієрархії параметри стимулювання родовищ за допомогою біотехнологій та комп'ютерних моделей програмування. □

Таблиця 2 – Ієрархія загальних експериментальних характеристик основних складових буріння за прикладами інтегрованого дослідження

№	Класифікація-ідентифікація стадій дослідження за темою
1	Аналіз можливостей інтегрованих складових дослідження за ієрархією класифікації-ідентифікації різновидів джерел інформації.
2	Класифікація-ідентифікація та аналіз синергетичних процесів із важковидобувними запасами нафти як критерій оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
3	Експериментально-практичні засади вибору технології та визначення складових її класифікації-ідентифікації інтегрованої конструкції за прикладом модернізації пневматичних клинів ротора.
4	Експериментально-практичні засади вибору технологічного обладнання: розрахунок та вибір складових інтегрованої конструкції технічної пропозиції для модернізованих пневматичних клинів ротора.
5	Опис ієрархії технічної пропозиції та модернізованої конструкції пневматичних клинів ротора за параметрами розрахунків математичної моделі.
6	Контроль енергетичних показників приводу ротора бурових установок удосконалення математичної моделі роботи бурового ротора як сутність інтегрованої дослідно-конструкторської роботи з удосконалення обладнання бурових установок
7	Приклади інтегрованої безпечної діяльності установки за розрахунками працездатності та вибору складових монтажу і експлуатації інноваційного обладнання – конструктивних елементів пневматичних клинів ротора.
8	Дослідження сучасних успішних практик з монтажу і експлуатації обладнання – організаційно-технічні заходи; експлуатація та ремонт обладнання як комплексної інтегрованої безпечної діяльності.
9	Визначення та вибір удосконаленої інтегрованої структурної моделі системи контролю енергетичних показників приводу ротора бурових установок
10	Математична модель з аналізу визначення моменту двигуна приводу стола ротора бурової установки, яка була б придатною для автоматичного контролю моменту на валу двигуна в реальному часі.
11	Приклади розрахунків конструктивних елементів пневматичних клинів ротора; монтаж і експлуатація обладнання як критерії оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
12	Приклади організаційно-технічних заходів з монтажу та експлуатації обладнання. як критерії оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
13	Класифікація-ідентифікація та аналіз синергетичних процесів з експлуатації та ремонту обладнання як критерії оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
14	Висновки і перспективи розвитку за інтегрованою безпечною діяльністю роботи удосконаленого обладнання бурових установок..

Одним із шляхів підвищення ефективності буріння свердловин є розробка різновидів математичних моделей синергетичних систем та вдосконалення контролю за процесом буріння, зокрема, за енергетичними показниками роботи приводу ротора бурових установок, що створює відповідні умови, особливо при бурінні свердловин у різновидах складних умов (табл. 2) [5–10].

Дослідження операцій, з іншого боку, використовують математичні моделі, їх аналіз та алгоритмічні методи для аналізу з оптимізації складних систем. Це дозволяє організаціям та підприємствам підвищити ефективність, зменшити витрати та покращити якість послуг або продукції. Завдяки постійному розвитку комп'ютерних технологій та алгоритмів, методи оптимізації та дослідження операцій продовжують вдосконалюватися, відкриваючи нові можливості для ефективного управління і прийняття рішень.

Об'єкт розробки – алгоритм, блок-схема з метою підвищення нафтовіддачі та інтенсифікації видобутку вуглеводнів на родовищах, що знаходяться на пізній стадії розробки, а також тих, що відносяться до категорій важко здобутих за рахунок розробки інтегрованих математичних моделей є на сьогодні більш реальною у найближчій перспективі, порівняно з пошуками та освоєнням нових площ та нафтогазових родовищ. Інтегровані приклади і задачі на цьому рівні пов'язані з можливістю функціонування підприємства у системі генерації кінцевої продукції. Для цього може бути застосований декомпозиційний підхід, тобто розподіл проблеми на рівні, що дозволяє врахувати непов'язані, безпосередньо між собою фактори, в комплексі, за рахунок послідовного вирішення окремих проблем – оптимізація кожного параметру дозволяє дослідити процес виготовлення цільової продукції в цілому.

На технологічному рівні вирішуються питання пов'язані з організацією технологічних зв'язків в рамках підприємства, що дозволяє знизити собівартість, ліквідувати проблемні задачі процесів та обладнання., що в кінцевому випадку є основою відтворення внутрішніх резервів.

**Експериментально-практичні засади вибору технології та визначення складових її класифікації-ідентифікації інтегрованої конструкції за прикладами модернізації різновидів пристроїв та обладнання.**

Приклади проведення удосконалення обладнання для утримання колони бурильних труб за методами контролю інтегрованих енергетичних показників бурового ротора і пневматичних клинів для буріння свердловин на нафту і газ представлені з метою виявлення можливостей інтенсифікації синергетичних процесів відновлення бурильних установок. Питання автоматизації процесів керування бурінням нафтових і газових свердловин приводять до необхідності вивчення цих складних характеристик технологічного процесу буріння, який

здійснюється за умов невизначеності під впливом стохастично-хаотичних збурень. Тому й моделям процесу буріння притаманна невизначеність, зумовлена, з одного боку, відсутністю точного опису процесів функціонування систем, а з іншого боку – неспроможністю оцінити стан систем абсолютно точно, що ускладнює й унеможливує використання точних кількісних методів. Дійсно, скористатися математичними моделями, які розкривають основні закономірності впливу різних технологічних факторів на механічну швидкість буріння, не представляється можливим без проведення експериментального буріння з метою визначення конкретних цифрових значень коефіцієнтів моделі [8]. Це викликано тим, що результати промислового буріння, які відображають сукупний вплив різних технологічних факторів на проходку одного долота і механічну швидкість, не дозволяють побудувати графіки залежностей механічної швидкості буріння від осьової сили на долото і частоти його обертання та визначити параметри моделі, які потрібні для корегування і оптимізації режимів буріння. Тому, аналіз взаємозв'язків параметрів математичної моделі процесу буріння свердловин є важливим науковим та практичним завданням, яке дозволить синтезувати кібернетичну математичну модель. Синтез адекватних математичних моделей процесу буріння свердловин є актуальною задачею у зв'язку з інтенсивним впровадженням у галузі цифрових керуючих обчислювальних комплексів [10–17] і нового типу доліт, які мають проходку декілька тисяч метрів на одне долото.

Проте, аналіз літературних джерел [10, 18, 19, 26], в яких започатковано розв'язання деяких проблеми, показує недостатній об'єм проведених досліджень у напрямку розробки методів ідентифікації параметрів математичної моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин. Невирішеною частиною загальної проблеми ідентифікації параметрів математичної моделі процесу буріння є встановлення взаємозв'язків параметрів математичної моделі технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин для ефективного і швидкого визначення збурень, що впливають на об'єкт керування [7].

У зв'язку з вище наведеним, проаналізовано взаємозв'язки параметрів математичної моделі технологічного процесу буріння свердловин для ефективного і швидкого розв'язання задачі ідентифікації стохастично-хаотичних збурень, що впливають на об'єкт керування в процесі роботи долота на вибої свердловини.

Удосконалення механічних характеристик асинхронних двигунів приводу стола ротора бурових установок є актуальною задачею у зв'язку з необхідністю створення сучасних засобів автоматичного контролю енергетичних показників процесу буріння нафтових і газових свердловин. Тому необхідно розробити таку інформаційну математичну модель моменту двигуна приводу стола

ротора бурової установки, яка була б придатною для вирішення задач автоматичного контролю моменту на валу двигуна в реальному часі.

Для вирішення цієї задачі використовуються методи порівняння, математичного і комп'ютерного моделювання, теорії автоматизованого електроприводу. Порівняння різних формул апроксимації залежності  $M = f(s)$  проведено для приводу стола ротора Р-560 з електродвигуном АКБ-114-6 бурової установки НБО-4Е, яка вибрана згідно найбільшого навантаження [7].

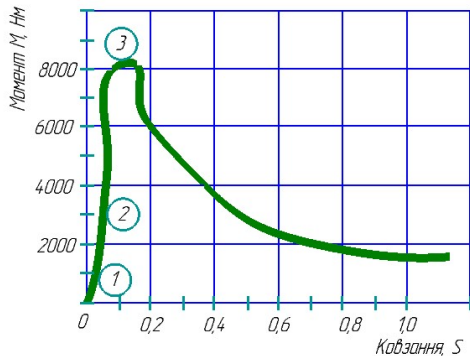


Рис. 1 – Механічна характеристика  $M = f(s)$  для двигуна АКБ-114-6

Механічна характеристика була побудована за такими паспортними даними двигуна АКБ-114-6:  $P_{ном} = 320$  кВт;  $U_{ном} = 500$  В;  $n_{ном} = 980$  хв<sup>-1</sup>;  $I_{ном} = 455$  А;  $p = 3$ ;  $\cos \phi = 0,88$ ; ККД = 92,5%. Нелінійну частину механічної характеристики розраховано згідно спрощеного рівняння механічної характеристики. На рис. 1 побудована механічна характеристика для двигуна АКБ-114-6 [8].

Для побудови сумісної механічної характеристики приводу стола ротора, розглянемо привід з асинхронним короткозамкненим ротором. Дослідження статичних властивостей електроприводу проводиться на основі побудованої механічної характеристики двигуна стола ротора АКБ-114-6 (1) потужністю 320 кВт, шарошкового долота Ш 295,3 СЗ-ГВ Д73 (2) і сумісної механічної характеристики (3), які наведені на рис. 2 (нормовані характеристики електродвигуна (1), долота (2) і їх сумісна механічна характеристика (3)):

$$M^* = M / M_N, n^* = n / n_N,$$

де  $M_N, n_N$  – номінальні моменти двигуна і частота обертання ротора) [7].

Механічну характеристику двигуна побудовано за паспортними даними у відповідних одиницях, враховуючи, що  $U_{ном} = 560$ В,  $n_{ном} = 980$  хв<sup>-1</sup>, ККД = 92,5%,  $\cos \phi = 0,88$ , кратність максимального моменту  $K_M = 2,75$ , критичне ковзання  $S_{кр} = 0,33$ . Експериментально визначено, що механічна характеристика долота є нелінійною. На сумісній механічній характеристиці спостерігається

зменшення максимального моменту  $M_{max}$ , пускового моменту  $M_1$ , критичного ковзання  $S_{кр}$ .

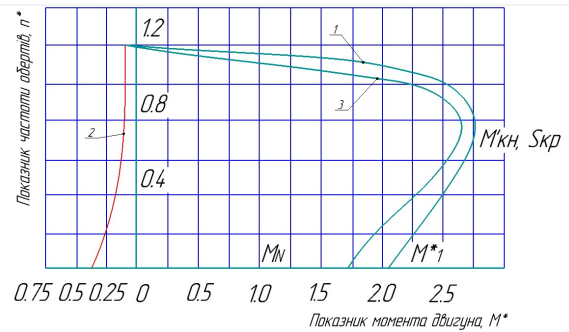


Рис.2 – Нормовані характеристики електродвигуна (1), долота (2) і їх сумісна механічна характеристика (3):

Проте, головний момент опору з боку навантаження створює колона бурильних труб, довжина якої постійно зростає в процесі буріння свердловини. На рис. 3 (1 -  $l = 1000$ м, 2 -  $l = 2000$ м, 3 -  $l = 3000$ м) у другому квадраті наведено нормовані механічні характеристики колони бурильних труб (1, 2, 3), а також у першому квадраті сумісна механічна характеристика (5) електродвигуна і долота та сумісна механічна характеристика електродвигуна, долота і колони бурильних труб довжиною  $l = 1000$ м (4) і довжиною  $l = 3000$ м (6). Аналіз впливу моменту опору з боку колони бурильних труб показує, що із збільшенням довжини колони суттєво зменшується максимальний момент  $M_{max}$ , пусковий момент  $M_1$  не змінюється. Збільшується і ковзання, одночасно зменшується жорсткість механічної характеристики і зменшується частота обертання ротора, кратність максимального моменту зменшується при глибині свердловини 300 м і частоті обертання ротора  $0,8^{n_0}$  до  $K_M = 1,2$  [8].

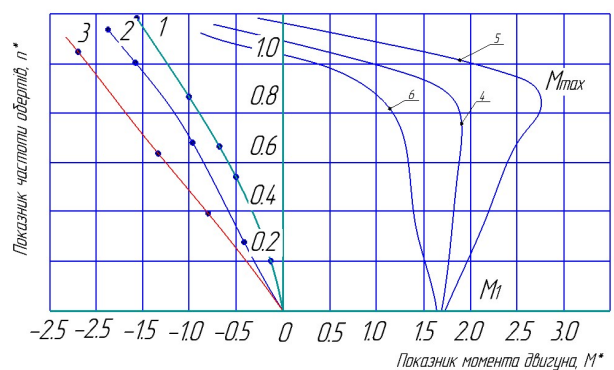


Рис. 3 – Нормовані механічні характеристики колони бурильних труб (1,2,3); сумісна механічна характеристика електродвигуна (СМХЕ) і долота (5); СМХЕ, долота і колони ( $l = 1000$ м) бурильних труб (4), СМХЕ, долота і колони ( $l = 3000$ м) бурильних труб (6):

Отже, гіпотеза про те, що частота обертання ротора (долота) і осьова сила на долото є незалежними, не підтверджується. Ця залежність є нелінійною. Суттєвою перевагою критерію оптимальності бурових доліт є можливість



контролювати його безпосередньо в процесі буріння свердловини. При цьому оптимальний режим буріння, який відбувається за умов апріорної та поточної невизначеності під впливом суттєвих завад (знос оснащення долота, випадкові зміни фізико-механічних і абразивних властивостей гірських порід, порушення досконалої промивки вибою та ін.) сприяє досягненню також максимальної проходки на долото [8].

Таким чином, неперервний контроль питомих витрат енергії, які можна розглядати як питому енергоємність процесу буріння свердловини, забезпечує підтримання оптимального режиму буріння свердловини в реальному часі. При переході бурового долота із однієї однорідної пачки порід в іншу спостерігається зміною величини питомих енерговитрат  $w$ , оскільки змінюється питома енергоємність гірських порід. Цей факт може бути використаний для поділу геологічного розрізу за питоною енергоємністю руйнування гірських порід.

Проте, для визначення величини питомих енерговитрат  $w$  інтегрованої системи слід враховувати, що параметрам, які входять у вираз для  $w$ , властива невизначеність, джерелами якої є [8]:

- 1) суттєві відхилення поточних значень осьової сили на долото, частоти обертання долота і моменту на долоті від середніх значень;
- 2) класифікація-ідентифікація нелінійного і стохастичного характеру зміни механічної швидкості буріння в часі;
- 3) недостатня ефективність очищення вибою свердловини від шламу;
- 4) коливання температури в зоні контактів зубців шарошки з гірською породою;
- 5) нелінійний характер зношення оснащення і опор долота в процесі буріння;
- 6) знос долота за діаметром;
- 7) вхід долота в зони з аномальними пластовими тисками;
- 8) відсутність інформації про ККД долота, який залежить від осьової сили на долото, властивостей бурового розчину (густини, в'язкості, водовіддачі, показників фільтрації, концентрації твердої фази і т.п.), зношення опор, оснащення долота, а також від змін умов буріння на вибої свердловини.

Відсутність методів і засобів поточної інформації про властивості порід і про технічний стан долота під час роботи не дозволяє глибоко вивчити цей процес. У той же час емпіричні залежності, одержані на базі статистичної обробки даних, неточні внаслідок комплексного впливу керувальних дій і фізико-механічних властивостей породи. Тому практичний інтерес представляють інтегральні оцінки властивостей комплексних закольматованих свердловин різновидів гірських порід [7].

Питома витрата енергії інформативно зв'язана з такими властивостями гірських порід як густина, пористість, проникність, твердість, буримість [6] і

зростає із збільшенням глибини  $H$  свердловини і зносу долота. Типовий графік залежності  $w$  ( $H$ ) наведено на рис. 4 [87].

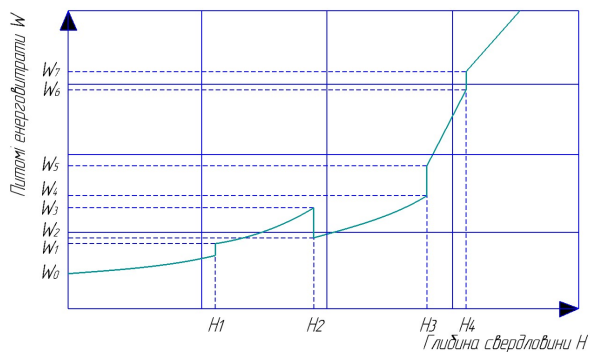


Рис. 4 – Графік залежності величини питомих енерговитрат  $w$  від глибини свердловини

Якщо ця тенденція порушується у бік зменшення показника  $w$ , то це свідчить про вхід долота в зону з аномально-високим пластовим тиском ( $H2 - H3$ ).

Контроль питомих витрат енергії  $w$  сприяє розв'язанню таких важливих геолого-технологічних задач як виявлення меж пластів гірських порід, визначення колекторських властивостей пластів, оцінки ефективності роботи доліт, оптимізація процесу буріння за критерієм оптимальності бурових доліт. Перехід долота із одного пласта в інший супроводжується ступінчатою зміною показника  $w$ , яка викликана неоднорідністю геологічного розрізу по енергоємності гірських порід [7].

Отже, гіпотеза про те, що частота обертання ротора (долота) і осьова сила на долото є незалежними, не підтверджується.

$$w = (0,001 \cdot \eta \cdot M_n + F_v) / V \cdot D^2, \text{ (кВт год) / м}^3$$

Ця залежність є нелінійною – рівняння [8] є математичною моделлю питомих витрат енергії як інтегральної контрольованої оцінки властивостей гірських порід на вибої свердловини, яка може бути використана для автоматизованого контролю цього параметру, а також оцінювати властивості порід в реальному часі і здійснювати моніторинг витрат енергії на буріння нафтових і газових свердловин.

Перед початком монтажу, до установки рам і балок необхідно переконатися у відповідності його технічним умовам та розмірам, указаним у кресленнях. Рами й балки повинні бути встановлені в строгій відповідності із заданими розмірами, прив'язані до центру свердловини з точністю до  $\pm 50$  мм, вивірені за рівнем у подовжньому і поперечному напрямках з точністю до 1 мм на 1 м.

Кожен комплект пасів, зв'язаних в один пакет, слід надягати на спільно працюючі шківні, оскільки при відправленні замовникові паси підбираються за довжиною відповідно до заданих технічних умов.

Найбільша різниця розмірів (за довжиною) комплекту спільно працюючих пасів завдовжки 5600 мм не повинна перевищувати 15 мм, а для пасів завдовжки 12000 і 10000 мм – 25 мм. Для надягання пасів необхідно зняти муфту ПМ 500, вийняти конічні штифти, від'єднати корпуси корінних підшипників від стійок, за допомогою консольно-поворотного крана підняти трансмісію на висоту, що забезпечує заклад клинових пасів, і завести паси. Після надягання клинових пасів потрібно встановити на місце та укріпити підшипники, вставивши штифти. Після надягання пасів між колінчастим валом і привідним валом редуктора, між веденим валом редуктора й трансмісіями, а також між секціями трансмісії необхідно провести перевірку центрування всіх валів. Центрування зводиться до вимірювання радіальних і осьових проміжків між стрілками пристосувань, установлених на валах, що перевіряються. Різниця проміжків між стрілками пристосувань при повороті валів електродвигуна і редуктора на 90 і 180° не повинна перевищувати 0,5 мм, а решти валів – 0,8 мм. У разі перевищення цього допуску необхідно провести перецентрування, яке повинен виконувати персонал, який має практичний досвід центрування валів.

**Деякі можливості галузевої хімічної інженерії за прикладами дослідження:** силові приводи і насоси необхідно встановлювати при дотриманні наступних умов: 1) осі струменів клинопасових шківів повинні лежати в одній площині, паралельній зсув однієї площини щодо іншої допускається не більше ніж 2 мм. 2) осі трансмісійних валів силових агрегатів і насосів повинні бути паралельні, відхилення не більше ніж 1 мм на 1 м довжини; 3) клинові паси повинні мати нормальний попередній натяг. При недотриманні цих умов клинопасові передачі працюватимуть незадовільно. Паси, маючи нерівномірний натяг, збігатимуть зі своїх струменів, будуть швидко зношуватися, створювати осьові навантаження на підшипники трансмісійних валів і на кріплення шківа бурового насоса, що може призвести до аварії.

Перевірку передач слід вести шляхом прикладання до торців шківів натягнутої струни, яка повинна без перегинів торкатися в двох діаметрально протилежних місцях торця кожного шківа. Перед перевіркою клинопасових передач необхідно зміряти товщину крайніх гребенів струмків шківів трансмісії, що вивіряються, і різницю вимірювань урахувати при перевірці. Між струною й площиною торця допускається просвіт у межах 1 мм. Контроль натягнення пасів здійснюється за допомогою вантажу вагою 10 кг, підвішеного до середини прольоту паса, і дерев'яної лінійки та характеризується максимальною величиною прогинання. Паси, не вживані, повинні мати при нормальному натягненні визначений прогин: трансмісійні паси завдовжки 5600 мм у межах 65–75 мм, паси привода насосів завдовжки 10000 і 12000 мм відповідно 130–140 мм.

Електродвигуни переважно монтуються на одній рамі з виконавчим механізмом. Вал електродвигуна центрується по веденому валу механізму, до якого він передає обертання. На рамах електродвигуни кріпляться болтами.

В установках з груповим приводом спочатку монтується ланцюговий редуктор, і він центрується з веденим валом коробки передач лебідки, а потім – силові агрегати. В більшості установок між редуктором і коробкою передач передбачені карданні вали. Силові агрегати групового привода монтуються на загальній рамі й кожний агрегат центрується по ведучому валу ланцюгового редуктора. В усіх установках між силовим агрегатом та редуктором є карданні вали й ШПМ. Обід і шків ШПМ посаджені на ведений вал ланцюгового редуктора: обід – нерухомо, а шків – на підшипниках. Шків муфти і турботрансформатор силового агрегату з'єднуються карданним валом. Уведення карданних валів в трансмісію БУ з ланцюговим редуктором значно спрощує їх монтаж, оскільки карданна передача вимагає менш точного центрування механізмів і агрегатів. Перекіс карданних валів у трансмісіях БУ з ланцюговим редуктором допускається до 85 мм на 1 м довжини вала. Горизонтальність ланцюгового редуктора і силових агрегатів перевіряється за рівнем, і вона досягається встановленням прокладок між рамами. Після цього кріпляться всі з'єднання.

Після закінчення монтажу необхідно підготувати механізми до випробування вхолосту без навантаження. Перед випробуванням треба звернути серйозну увагу на підготовку до роботи підшипників і трансмісій, понижуючих редукторів та коробки швидкостей. Зі всіх працюючих поверхонь підшипників і зубчастих зачеплень повинні бути зняті консервуючі покриття. Зазвичай консервація підшипників та зубчастих зачеплень проводиться густим мастилом, яке само по собі є змащувальним матеріалом, тому повністю видаляти її перед пуском не потрібно. Довговічність і працездатність привода бурової установки залежить від вчасного змащення поверхонь тертя і від правильно вибраних змащувальних матеріалів.

Представлені приклади технічної пропозиції дозволяють обґрунтувати доцільність та економічну ефективність введення запропонованих технічних рішень з модернізації закольматованих бурових установок з метою удосконалення їх конструкції, обґрунтування її технічної доцільності.

Суть технічного рішення з модернізації пневматичних клинів ротора полягає у тому, що порівняно із аналогом у модернізованих клинах ротора затискач ведучої труби забезпечений очищувачем ведучої труби і кришкою, поворотні вставки в кутах затискача ведучої труби оснащені верхніми і нижніми обмежувачами повороту і випадання всередину, під поворотними вставками на кінцях нижнього торця корпусу затискача встановлені конусні приводні пальці, очищувач

ведучої труби розміщений над поворотними вставками в кришці. Пропонованою модернізацією вирішується завдання створення пристрою для захоплення труб в роторі бурової установки, яке виключило б передачу великих крутних моментів, дозволило б передавати крутний момент при відхиленні від співвісності ведучої труби і прохідного отвору ротора, забезпечувало б силове центрування затискача з ведучою трубою клинами при неспіввісності клина і поглиблення під клин в затискачі ведучої труби, забезпечило б зниження контактного тиску між затискачем і ведучою трубою, а також очищення зовнішньої поверхні ведучої труби при виході її із свердловини. При впровадженні запропонованого модернізованого бурового ротора економічний ефект складатиме 86,1 тис. грн., що свідчить про доцільність запропонованого вдосконалення.

Проведено аналіз взаємозв'язків осьової сили на долото з частотою його обертання, що дозволило встановити нелінійно-спадаючий характер цієї залежності і врахувати цю закономірність в математичній моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин. Отже, гіпотеза про те, що частота обертання долота і осьова сила на долото є незалежними не підтверджується. Побудовано сумісну механічну характеристику електродвигуна, долота і колони бурильних труб різної довжини, а також вдосконалено нелінійну математичну модель асинхронного двигуна привода стола ротора, яка описує зв'язок між поточним значенням ковзання та моментом двигуна. Це дозволяє використати її в системах цього моніторингу. Розроблено математичну модель для визначення питомих витрат енергії на буріння свердловин, яка може бути використана для створення засобів автоматизованого контролю цього параметру.

Проведені розрахунки працездатності” підтверджують ефективність технічного рішення з модернізації пневматичних клинів ротора, т. як отримані коефіцієнти запасу міцності більші допустимих [1–5].

#### **Висновки та перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного дослідження.**

Представлені можливості комплексного інноваційного дослідження, які можуть бути застосовані для різновидів галузей хімічної технології з урахуванням розвитку Європейської Федерації Хімічної Інженерії. Основною метою діяльності громадської організації «Українська асоціація хімічної та харчової інженерії» є вирішення питань розвитку хімічної та харчової промисловості та співпраці з Європейською Федерацією Хімічної Інженерії, участь та організація Українських та Міжнародних наукових конференцій, семінарів, симпозіумів, обмін науковими досягненнями, організація виставок, екскурсійних відвідувань наукових цінностей членів Організації та ін. [12–27].

Велике значення у вирішенні цієї проблеми відводиться підготовці відповідної науково-технічної літератури, що пояснює схему та логіку прийняття конструкторських та технологічних рішень за прикладами етапів їх виконання. Подальші технологічні рішення можуть і повинні змінюватися та коригуватись у ході їх здійснення на виконавчій фазі провадження [1–5].

Швидкими темпами розвивається комп'ютерне проектування технологічних процесів і систем, але в області комп'ютерного проектування залишається ще багато не вирішених питань. спеціалістам-проектувальникам необхідно, перш за все, пізнати логіку прийняття технологічних рішень, представити труднощі та альтернативи вибору раціональних рішень з безлічі можливих. Це дозволить їм більш реалістично ставитися до результатів та можливостей комп'ютерного проектування та програмування, яке найчастіше виконується в режимі діалогу між людиною та комп'ютером. У даному дослідженні проведено аналіз взаємозв'язків осьової сили на долото з частотою його обертання, що дозволило встановити нелінійно-спадаючий характер цієї залежності і врахувати цю закономірність в математичній моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин. Отже, гіпотеза про те, що частота обертання долота і осьова сила на долото є незалежними не підтверджується.

Побудовано сумісну механічну характеристику електродвигуна, долота і колони бурильних труб різної довжини, а також вдосконалено нелінійну математичну модель асинхронного двигуна привода стола ротора, яка описує зв'язок між поточним значенням ковзання та моментом двигуна. Це дозволяє використати її в системах цього моніторингу. Розроблено математичну модель для визначення питомих витрат енергії на буріння свердловин, яка може бути використана для створення засобів автоматизованого контролю цього параметру.

Представлені можливості комплексного інноваційного дослідження можуть бути застосовані для різновидів галузей сучасної інженерії з урахуванням розвитку діяльності громадської організації «Українська асоціація хімічної та харчової інженерії» (представництво на кафедрі ІТПА НТУ «ХП») – пошук та наукове обґрунтування раціональних параметрів процесів хімічної інженерії [18–33].

#### **Список літератури**

1. Витрик В.Г., Кондратьєва А.В., Селинний М.Ю., Галушка Р.Н. Практика розробки виснажених нафтових родовищ України за допомогою технології направлено буріння (2017). Нафтогазова інженерія. Число 2. 19-26.
2. Технологія і техніка буріння / В.С. Войтенко, В.Г. Вітрик, Р.С. Яремійчук, Я.С. Яремійчук // Львів: Центр Європи, 2012.

3. Орловський В. М., Білецький В. С., Сіренко В. І. Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «Харківський політехнічний інститут», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. – 312 с.
4. Агейчева О.О., Зезекало І.Г., Бухкало С.І. Загальні системи аналізу віддачі пластів свердловин. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 103.
5. Зезекало І.Г., Іваницька І.О., Агейчева О.О. Основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесах буріння та експлуатації методом кислотних обробок. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2020. – № 6 (1360). – С. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
6. Зезекало І.Г., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Деякі задачі з підвищення віддачі пластів свердловини. XXIX Міжн. нпракт. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 149.
7. Svitlana Bukhhalo. The systems and models for complex polymer solid waste. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХПІ». С. 114.
8. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. нпракт. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD2018) 17–19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
9. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
10. Вольченко О.І. Курс лекцій з деталей машин та тестові завдання / О.І. Вольченко, В.С. Ловейкін, Д.Ю. Журавльов, В.Я. Малик – Івано-Франківськ. Прикарпатський університет імені Василя Стефаника, 2011. – 246 с.
11. Організація і планування операційної діяльності нафтогазових підприємств: Навч. посіб. / За ред. М. О. Данилюк. – Івано-Франківськ, 2009. – 364 с.
12. Лайонс, В., Плісга, Г., Ахмад, Н. (2015). Стандартний довідник з нафтової та газової інженерії. Elsevier.
13. Пелипенко О.І., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Інтегровані дослідження з удосконалення обладнання бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 617.
14. Бойко В.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Комплексне дослідження інтегрованої безпечної діяльності бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 555.
15. Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. дослідження з удосконалення талевої системи бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 598.
16. Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження інтегрованого підвищення фонтанної безпеки процесу буріння при освоєнні свердловини Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 594.
17. Тацій І.С., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження дії універсального гідравлічного розширювача на різних режимах буріння. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 635.
18. Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 184 с
19. Бухкало С.І., Товажнянський Л. Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 460 с.
20. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О., Орлова Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах [текст] підручник К.: ЦНЛ, 2008. 600 с.
21. Бухкало С.І., Глюха М.Г., Лазарева Т.А. Технологічне обладнання харчової галузі (н.пос.). Х.: УПА-2009, 185
22. Бухкало С.І., Лазарев М.І., Глюха М.Г., Лазарева Т.А., Рубан Н.П., Новосельцев О.О. Процеси та апарати харчових виробництв (навч. пос.). Х.: УПА-2009, 153 с.
23. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зипунников М.М., Ольховська О.І. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
24. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.
25. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
26. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
27. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
28. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести з технології переробки плодовоовочевої сировини), 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підр. з грифом. К: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
29. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaf and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26.
30. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.:, 2014. № 16. С. 3–11.

31. Бухкало С.І. Комплексних інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
32. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
33. Бухкало С.І., Якименко-Терещенко Н.В.. Приклади комплексного викладання дисциплін – інноваційні ресторани технології, товарознавство та управління закупівлями. Вісник НТУ «ХП». 2023. № 1(1365), 12.
12. Lajons, V., Plisga, G., Ahmad, N. (2015). Standartnij dovidnik z naftovoї ta gazovoї inzhenerii. Elsevier.
13. Pelipenko O.I., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Integrovani doslidzhennja z udoskonalennja obladnannja burovoї ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 617.
14. Bojko V.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Kompleksne doslidzhennja integrovanoї bezpechnoї dijalnosti burovoї ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664., 555.
15. Krat D.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. doslidzhennja z udoskonalennja talevoї sistemi burovoї ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 598.
16. Krat D.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja integrovanoї pidvishhennja fontannoї bezpeki procesu burinnja pri osvoenni sverdlolini Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kh: NTU «KhPI». – 1664 p., 594.
17. Tacij I.S., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja diї universalnogo gidravlichnogo rozshirjuvacha na riznih rezhimah burinnja. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXHII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664 s., 635.
18. Bukhhalo S.I. Tehnologija osnovnih harchovih virobniectv u prikladah i zadachah (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2003. 184 p
19. Bukhhalo S.I., Tovazhnjanskij L. L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevih proizvodstv i jenergosberezhenie (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 460 p.
20. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O., Orlova Є.І. Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah [tekst] pidruchnik K.: CNL, 2008. 600 p.
21. Bukhhalo S.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A. Tehnologichne obladnannja harchovoї galuzi (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 185 p.
22. Bukhhalo S.I., Lazarev M.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A., Ruban N.P., Novosel'cev O.O. Procesi ta aparati harchovih virobniectv (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 153 p.
23. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M., Ol'hovs'ka O.I. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2013. 352 p.
24. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2014. 412 p.
25. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
26. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch.

### References (transliterated)

1. Vitrik V.G., Kondrat'eva A.V., Selinnyj M.Ju., Galushka R.N. Praktika rozrobki visnazhenih naftovih rodovishh Ukraїni za dopomogoj tehnologii napravlenogo burinnja (2017). Naftogazova inzhenerija. Chislo 2. 19-26.
2. Tehnologija i tehnika burinnja / V.S. Vojtenko, R.S. Jaremijchuk, Ja.S. Jaremijchuk // L'viv: Centr Єvropi, 2012.
3. Orlovskij V.M., Bilec'kij V.S., Sirenko V.I. Naftogazoviluchennja z vazhkodostupnih i visnazhenih plastiv. Kh: Harkivsk'ij nacional'nij universitet mis'kogo gospodarstva imeni O.M. Beketova, NTU «Kharkivsk'ij politehničnij institut», TOV NTP «Burova tehnika», L'viv, Vidavniectvo «Novij Svit – 2000», 2023. – 312 p.
4. Agejcheva O.O., Zezekalo I.G., Buhkalo S.I. Zagal'ni sistemi analizu viddachi plastiv sverdlolin. XXIX Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 r.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 103.
5. Zezekalo I.G., Ivanic'ka I.O., Agejcheva O.O. Osnovni principii vidnovlennja produktivnosti sverdlolin zakol'matovanih u procesah burinnja ta eksploatacii metodom kislotnih obrobok. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – № 6 (1360). – Pp. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
6. Zezekalo I.G., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Dejaki zadachi z pidvishhennja viddachi plastiv sverdlolini. XHII Mizhn. nprakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 149.
7. Svitlana Bukhhalo. The systems and models for complex polymer solid waste. XHII Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 u 5 ch. Ch. II. / red. prof. Sokola Є.І. NTU «KhPI». 114.
8. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. XXVI Mezhd. nprakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
9. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnjanskij L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
10. Vol'chenko O.I. Kurs lekcij z detalej mashin ta testovi zavdannja / O.I. Vol'chenko, V.S. Lovejkin, D.Ju. Zhuravl'ov, V.Ja. Malik – Ivano-Frankivsk. Prikarpat'skij universitet imeni Vasilja Stefanika, 2011. – 246 s.
11. Organizacija i planuvannja operacijnoї dijalnosti naftogazovih pidpriemstv: Navch. posib. / Za red. M. O. Daniljuk. – Ivano-Frankivsk, 2009. – 364 p.

2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiïv «Centr uchbovoi literaturi»: 2018, 108 p.
27. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii krohmalju). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. K «Centr uchbovoi literaturi»: 2019, 108 p.
28. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoï sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K: «CNL»: 2022, 108 p.
29. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and calendula extracts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6), 22–26.
30. Bukhhalo S.I. Udoshonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. *Visnik NTU «KhPI»*. Kh.: 2014. № 16, pp. 3–11.
31. Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
32. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoï masi na ii vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
33. Bukhhalo S.I., N.V. Jakimenko-Tereshhenko. Prikladi kompleksnogo vikladannja disciplin – innovacijni restoranni tehnologii, tovaroznavstvo ta upravlinnja zakupivljami. *Visnik NTU «KhPI»*. 2023. № 1(1365), pp. 12–23.

Надійшла (received) 19.07.2024

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Пелипенко Олексій Ігорович (Пелипенко Алексей Игоревич, Pelypenko Olexsiy Ihorovytsch)** – магістрант кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна;

e-mail: [savycvasyl@ukr.net](mailto:savycvasyl@ukr.net)

**Савик Василь Миколайович (Савик Василий Николаевич, Savuk Vasyl Mykolayovytsch)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0706-0589> ;

e-mail: [savycvasyl@ukr.net](mailto:savycvasyl@ukr.net)

**Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>;

e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Агейчева Олександра Олександрівна (Агейчева Александра Александрівна, Aheicheva Olexandra Olexandrivna)** – голова циклової комісії бурових дисциплін Полтавського фахового коледжу нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна.

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0140-9604>;

e-mail: [ageicheva@ukr.net](mailto:ageicheva@ukr.net)

**O. I. PELYPENKO, V. M. SAVYK, S. I. BUKHKALO, O. O. AHEICHEVA**

**MATHEMATICAL MODELS OF THE INTEGRATED RESEARCH OF THE DRILLING RIG IN EXAMPLES OF WELL PRODUCTIVITY RESTORATION**

The materials of the article consider examples of opportunities for determining the goals of integrated research of clogged drilling rigs. The reasons for the decrease in permeability, which occurs during the construction and operation of the well, are analyzed. The reasons for the decrease in the permeability of the bottom-hole zone of reservoir rocks, which occur in the process of drilling, cementing, secondary opening and development of wells, have been determined. The main principles of development, analysis and implementation of recovery processes using modern highly effective science-based technologies, for example, synergistic processes with hard-to-extract oil reserves, were studied as a criterion for evaluating the effectiveness of integrated research. Integrated studies are defined as from types of classification-identification analysis, general concepts and requirements to types of methodology for determining quality indicators and their evaluation through the selection of analysis algorithms and calculations at various stages of production. The analysis of mathematical models of improving the quality of integrated drilling rig research due to the use of new working agents and technology improvement was carried out.

**Key words:** mathematical models, synergistic processes, well productivity, formation near-off zone, chemical methods, pollution.

*E. A. CHERNUSHENKO, I. R. KOLESNIKOV*

## DETERMINATION OF THE RISKS OF ADVERSE IMPACT ON THE POPULATION OF NITRATES IN PLANT PRODUCTS GROWN IN THE TERRITORY OF THE NORTHERN INGULETSK MINING AND PROCESSING COMPLEX

An important task in the field of food safety expertise is to ensure the quality of plant materials and the production of safe food products. Conducting research on the content of nitrates in plant products of local production is especially relevant in industrial regions. Many studies by scientists on the effects of nitrates and nitrites on humans prove that they are one of the sources of threat to human health. Comparative characteristics of the nitrate content in plant products sold on the market and in stores are given. The nitrate content exceeds the MAC in early potatoes, which were bought at the market, and early tomatoes. Long-term nitrate load, even in small doses, is one of the important toxic risk factors for public health, reduces the body's resistance. The research involved samples of locally produced agricultural crops grown in the area near the enterprises of the Northern and Ingulets Mining and Processing Plants. The levels of nitrate content in the main types of plant-based food products were determined, the risks of adverse effects of controlled nitrates supplied by plant products were calculated, which confirmed the need for continuous monitoring of food raw material safety. Food products were ranked by their contribution to the overall exposure value. Cabbage and potatoes have the highest nitrate load on the region's residents, mg per day. The HQ values were less than one. The paper presents the main ways to reduce nitrate content in plant products.

**Key words.** Food safety, nitrates, risk assessment, safety of plant raw materials, food expertise, methods for determining nitrates.

### INTRODUCTION

The intensive development of agriculture, the use of nitrogen-containing fertilizers, and the irrigation of crops with water polluted by industrial effluents have led to the accumulation of nitrates in plant material and have had a negative impact on human health. The Kryvyi Rih iron ore basin is one of the main mining centers of Ukraine, located within the Dnipropetrovsk region. The development of enterprises in the mining and metallurgical complex has caused a significant man-made load on the basins of the Ingulets and Saksagan rivers, which have become receivers of wastewater discharges.

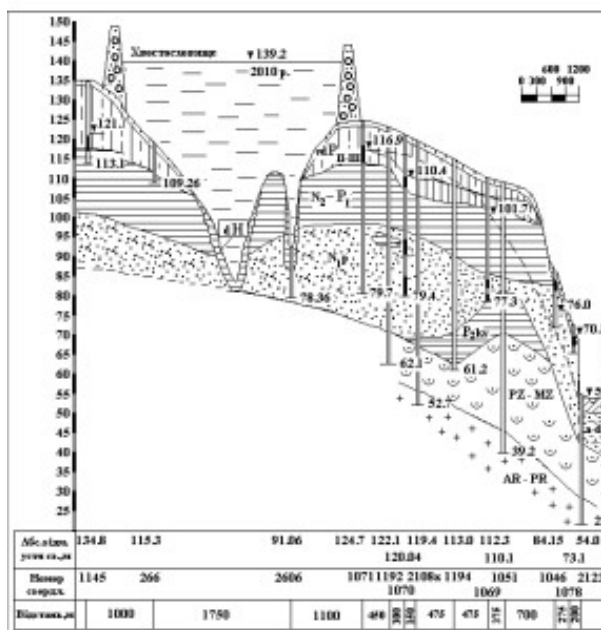
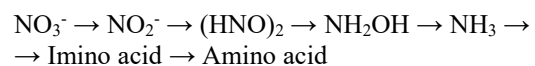


Fig. 1 – Geological and hydrogeological section on the territory of the Northern GZK

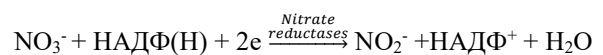
The waters of these rivers are used for irrigating agricultural land (Fig. 1).

The main mass of nitrates (70-80% of the daily intake) enters the human body through plant products (vegetables and leafy greens). Small amounts of nitrates are ingested with fruits, berries, dairy and meat products, and drinking water. Therefore, it is currently relevant to conduct research on the nitrate content in locally produced vegetables (potatoes, carrots, cucumbers, cabbage, tomatoes, onions). This is due to the irrational use of fertilizers, which increases the level of nitrates in the soil and plants [1–5].

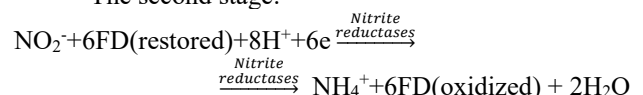
Nitrates are a necessary component of nitrogenous plant nutrition. Nitrogen, entering the plant in the form of nitrate ions, undergoes complex transformations, reducing nitrogen from an oxidation state of +5 to -3 [6–8]. Features of nitrogen metabolism in plants:



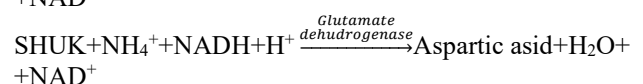
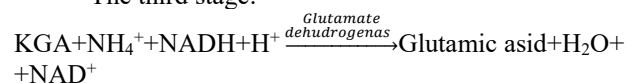
The first stage:



The second stage:



The third stage:



© Chernushenko E.A., Kolesnikov I.R., 2024,

In order to control the chemical composition of water in rivers

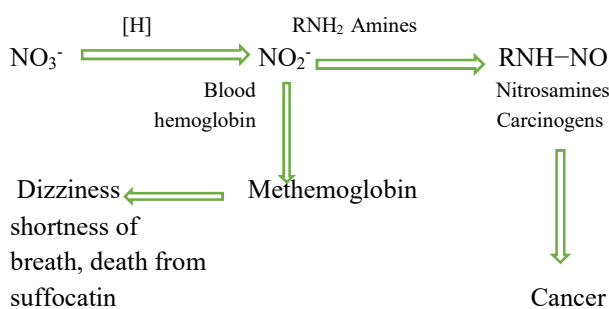
Saksagan and Ingulets researchers proposed a permanent hydrochemical model of Kryvbas water bodies:

- 1) organization of the hydrochemical monitoring system;
- 2) analysis of the main trends of changes in the content of the main ions in the water of water bodies;
- 3) assessment of the development of the main hydrochemical processes;
- 4) forecast of stabilization of the chemical composition of water and analysis of the obtained results;
- 5) development and implementation of environmental protection measures.

The absorption of nitrates by plants occurs through a number of stages. First stage Nitrates are reduced to nitrites through the enzymatic action of nitrate reductase. Nitrite is then reduced to ammonia by nitrite reductase. Third stage The resulting ammonia is quickly incorporated into glutamic acid under the action of glutamine synthetase, into aspartic acid, alanine. Therefore, plants urgently need the addition of nitrate fertilizers to the soil. However, excess nitrates accumulate in plants and have a negative effect on humans.

The toxic effect of nitrates on the human body is associated with the formation of nitrite, ammonia, and hydroxylamine reduction products that occur under the action of enzymes. The nitrites formed react with secondary amines to form carcinogenic nitrosamines.

Nitrates also oxidize the divalent iron of hemoglobin into trivalent iron with the formation of methemoglobin, which is unable to transport oxygen to the tissues.



Large doses of nitrates cause shortness of breath, diarrhea, nausea, and palpitations. Long-term exposure to nitrates leads to allergies, metabolic and nervous system disorders [9-11].

#### Objet, subject and methods of research

The objects of the study were vegetables taken in the spring and autumn periods, purchased in a store and on the market from a private owner, which were grown with the use of irrigation with water from the reservoirs of the adjacent territories of the Northern and Ingulets GZK.

Nitrates were determined by methods by the ionometric method according to DSTU 4948:2008. The essence of the quantitative ionometric method consists in the determination of nitrates from the analyzed material

with a solution of alumakalium alums and the subsequent measurement of the concentration of nitrates in the hood with an ion-selective electrode.

The exposure was calculated according to the formula:

$$\text{Exp} = \frac{\sum_{i=1}^N (C_i \times M_i)}{BW}$$

where Exp is the contaminant exposure value, mg/kg of body weight/day;

$C_i$  – the content of the contaminant in the  $i$ th product, mg/kg;

$M_i$  – consumption of the  $i$ th product, kg/day;

BW – human body weight, kg; N is the total number of products included in the study.

The contribution of each group of food products to the total value of exposure to the contaminant was calculated:

$$\text{Contr } i = \frac{(C_i \times M_i)}{\sum_{i=1}^N (C_i \times M_i)}$$

where Contr  $i$  is the contribution of the  $i$ -product to the total exposure value;  $C_i$  – the content of the contaminant in the  $i$ th product, mg/kg;  $M_i$  – consumption of the  $i$ th product, kg/day.

The risk of developing non-carcinogenic effects was assessed through the calculation of hazard ratios (HQ). The calculation of HQ was carried out taking into account the average dose according to the formula:

$$\text{HQ} = \frac{\text{Exp}}{\text{PDD}}$$

Exp – value of contaminant exposure by average content, mg/kg of body weight/day; PDD – permissible daily dose of contaminant intake with food products, mg/kg;

Values of non-carcinogenic risk were estimated as a negligible risk of developing toxic effects – at  $\text{HQ} \leq 1.0$ , high – at  $\text{HQ} > 1.0$  [12].

A social survey (interview) of the population of Shevchenkivske, Andriivaka and Zavyalivka villages was conducted regarding the use of agricultural products. The age of citizens who participated in the survey was from 18 to 50 years.

#### Results

Sampling of vegetables was carried out in the period from May to October, and seasonal dynamics of nitrate content and comparison of their analysis methods were studied.

The results of the analysis were listed in Table 1.

Research results have shown that not all plants accumulate nitrates equally. A large amount was found in potatoes, cabbage, tomatoes.

Nitrates are mainly accumulated in the head of cabbage, in the core of carrots, in the skin of cucumbers, and potatoes. However, the detected residual content of nitrates did not exceed the MPC in all products of vegetable origin, except



The seasonal dynamics of plant production showed that the largest number of vegetables with a high nitrate content is in the spring period. The largest amount of nitrates accumulates in cabbage in the autumn period, cabbage, cucumbers, potatoes and tomatoes in the spring period. Until the autumn period, the amount of nitrates in products decreased.

Table 1 – Concentration of nitrate ions in mg/kg spring/autumn period

The name of the vegetable	Ionometric method	MPC, mg/kg
Store products		
Potato	210/135	250
Cucumbers	294/134	300/150
Tomatoes	156/96	150
Cabbage	770/360	900/500
Carrot	-/230	400/250
Onion	-/70	80
Market products		
Potato	270/175	250
Cucumbers	238/134	300/150
Tomatoes	147/88	150
Cabbage	644/426	900/500
Carrot	-/156	400/250
Onion	-/46	80

Analyzing the research data shown in Table 2, it has been established that the maximum limit is exceeded for early market potatoes by 8 – 12%, and in early store tomatoes by 4%.

Vegetables, such as cucumbers, tomatoes, and cabbage, purchased in the spring contain much more nitrates than those purchased in the fall. The maximum nitrate content during the research period is 770 mg/kg in store-bought early cabbage.

Table 2 – Results of the ionometric method for determining nitrate ions in the spring period in different parts of vegetables

The name of the vegetable	Concentration of nitrate ions in mg/kg		% Nitrate Reduction
	With skin	Without skin	
Potato	320	289	9,7
Cucumbers	450	250	44,4
Carrot	300	178	40,7

Another reason for the increased content of nitrates in early vegetables is the fact that plants grown indoors have a lack of ultraviolet light, which leads to the accumulation of nitrates due to a violation of their metabolism in plants. In addition, the high price of early vegetables during this period forces the use of nitrogen fertilizers in order to obtain a higher yield and a higher profit.

In the autumn period, almost all vegetable products met hygienic standards Nitrogen in plants is mainly

accumulated in the stems, roots, roots, petioles and veins of the leaves and less in the fruits.

In the fruits of cucumbers, potatoes, and carrots, the nitrate content is approximately three times higher in the peel than in the pulp (table 3).

It was established that removing the skin from carrots, potatoes and cucumbers is an effective measure for reducing nitrates in experimental samples (by 9 – 45%).

Speaking about the examination of the safety of food products when determining nitrate ions, it is necessary to first of all ask questions about the accuracy of express methods for determining vegetable raw materials, regulating the content of nitrates in the water used for growth and the use of nitrate fertilizers.

Table 3 – Results of the actual human burden of nitrates obtained with vegetables

The name of the vegetable crop	The level of total nitrate loading when consuming 1 kg of product, mg/kg	Actual annual consumption of products per capita, kg/year.	Actual daily food consumption on per capita, kg/day.	Real nappy per person with nitrates mg per day
Potato	197,5	94	0,257	50,8
Tomatoes	122	51	0,140	17,1
Onion	48	66	0,181	8,6
Cabbage	550	67	0,184	100,9
Carrot	193	68	0,186	35,9
Cucumbers	200	62	0,170	33,9

The obtained results of the actual content of nitrates in vegetable products were used later in the calculation of the intake of these compounds into the body from food products. Data on the actual consumption of food products (averaged taking into account the season of the year) by the population of Shevchenkivske, Andriyivaka and Zavyalivka villages are presented in the table. 4.

Table 4 – Consumption of nitrates with vegetables

Product	Nitrates, mg/ per kg of body weight		
	year	sunday	day
Vegetables	1288	24,72	3,53

To evaluate the level of nitrate intake with vegetables per kilogram of human body weight, the average value of body weight was calculated:  $70.0 \pm 1.2$ .

Data on the actual consumption of vegetables, the average body weight of an adult and the results of studying the content of nitrates in vegetables made it possible to calculate the nitrate exposure of vegetables for the population living in the villages of Shevchenkivske, Andriyivaka and Zavyalivka.

The calculation of the daily load of food contaminants per population was carried out on the basis of data from a social survey on the volume of food consumption with rations.

Based on the data of the social survey of the population of Shevchenkivske, Andriyivaka and Zavyalivka villages (564 people), the variable intake of nitrates with food products was determined and the contribution of plant products to the total value of exposure of the city population was determined.

The ranking of food products by contribution to the total value of exposure was (%): potatoes – 20.6; cabbage – 40.8; cucumbers – 13.7; tomatoes – 6.9; carrots – 14.5; onion – 3.5. Thus, the products with the greatest contribution to the exposition are potatoes and cabbage.

The dietary burden of nitrates for the population did not exceed the recommended PDD and amounted to 3.53 mg/kg of body weight per day (70.6% of PDD).

Calculation of the hazard coefficients of only the content of nitrates in plant products:

$$HQ = 3,53 / 5 = 0.706$$

The HQ values were less than one, so an in-depth exposure assessment is not required, the non-carcinogenic risk is at an acceptable level.

Non-carcinogenic risks are related to the fact that nitrates, entering the human body daily with food and accumulating inside, can affect the circulatory and cardiovascular systems.

Summarizing, it should be noted that the issue of security is certainly relevant in the field of health care. Plant raw materials, the level of contamination with contaminants does not exceed permissible values, can be sold to the population without restrictions. But we must not forget that contaminants in raw materials and products put a strain on the human body. Long-term exposure to nitrates, even in small doses, is one of the important chemical risk factors for public health.

Application of thermal and mechanical plant processing processes products, such as cleaning, cooking, blanching, canning, salting and fermentation, leads to a decrease in the level of nitrates, but at the same time the content of minerals and vitamins also decreases.

It is recommended to use fresh salted cabbage, cucumbers and other fermented vegetables after 10 – 15 days. With long-term soaking of parsley and dill leaves in water, 10 – 15% of nitrates are washed out of them [13].

So,

- established levels of nitrate content in the main types of food products of plant origin;
- a calculation of the risks of the adverse effects of controlled nitrates coming from plant products grown on the territory near such enterprises as Severnyi and Inguletsky GZK was carried out;
- The need for constant monitoring of the safety of food raw materials has been confirmed.

In order to prevent the accumulation of nitrates in crops, it is necessary to revise agricultural techniques and reduce the use of mineral fertilizers.

Recommendations for reducing the content of nitrates in vegetables:

- washing and cleaning (for example, potatoes, carrots, etc.);
- when grinding or rubbing is required, it should be done shortly before cooking;
- blanch vegetables with a high content of nitrates in boiling water for 1 – 3 minutes and leave them in water until consumption (soaking);
- store vegetables until the next meal in a refrigerator (below 4°C) or a freezer (at a temperature below -18°C);
- it is necessary to store fresh leafy vegetables in the refrigerator, if they are not prepared immediately;
- cooked food taken out of the refrigerator or freezer must be reheated immediately, boiled thoroughly for 1 minute and consumed immediately [12–13].

### Conclusions

To summarize, it should be noted that the issue of safety is certainly relevant in the field of preventive health care. Technological solutions and organizational principles of achieving a satisfactory state of the environment are outlined.

A qualitative analysis of nitrate ions in vegetable raw materials: cucumbers, cabbage, potatoes, tomatoes, carrots and onions was carried out by the ionometric method. It was established that the most nitrate ions are contained in products from closed soil, compared to products collected from open soil.

Quantitative determination of the content of nitrate ions in food products was carried out and it was investigated that nitrates are contained in all products.

The content of nitrates exceeds the MPC in early potatoes bought on the market and early tomatoes.

### References (transliterated)

1. Kostenko, E.E. Monitoring of nitrates and measures to reduce them in plant products / E.E. Kostenko, V.D. Hanchuk, O.M. Butenko // Scientific works of the National University of Food Technologies. 2020. Vol. 26, № 3. P. 243-252. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/32155>
2. Panasenko T.V., Krasnorutskaya K.I. The content of nitrate ions in food products of plant origin. Current issues of biology, ecology and chemistry. Chemistry section. 2016. Vol. 12, № 2. P. 103–112. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apd\\_2016\\_12\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apd_2016_12_2_13)
3. Andrews M. The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants: mini review, *Plant Cell Environ.* 1986, № 9, P. 511–519. <https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep111616228>
4. Kharitonov M.M., Lazareva O.M., Lemishko S.M. Ecological assessment of the variability of nitrate content in vegetable and fruit and berry cultures in the Dnipropetrovsk region. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. 2015. № 3. P. 29–31. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA\\_2015\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2015_3_7)
5. Evenshtein Z.F. Nitraty, nitrity, nitrozaminy. K.: Obshchestvennoye pitaniye. 2010. 12 p.

6. Anjana, Umar S., Iqbal M., Abrol Y.P Accumulation of nitrates in plants, factors influencing this process and consequences for human health. Review. *Agron.Sustain.Dev.*,2007. Vol. 27. P. 45–57. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2006021>
7. DSTU 4948:2008 "Fruits, vegetables and their processing products. Methods for determination of nitrate content". [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=83097](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=83097)
8. Chen B.M., Wang Z.H., Li S.X., Wang G.X., Song H.X., Wang X.N. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables, *Plant Sci.* 2004. Vol.167, P. 635–643. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.015>
9. Santamaria P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation, *J. Sci. Food Agr.* 2006. Vol. 86, P. 10–17. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>
10. Santamaria P., Elia A., Serio F., Todaro E. A survey of nitrate and oxalate content in retail fresh vegetables, *J. Sci. Food Agr.* 1999. Vol. 79, P. 1882–1888. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199910\)79:13%3C1882::AID-JSFA450%3E3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199910)79:13%3C1882::AID-JSFA450%3E3.0.CO;2-D)
11. Zhou Z.Y., Wang M.J., Wang J.S. Nitrate and nitrite contamination in vegetables in China, *Food Rev. Int.* 2000. Vol.16, P. 61–76. <https://doi.org/10.1081/FRI-100100282>
12. Orymbetova, G.E., Shambulova, G.D., Orymbetov, E.M., Kasymova, M.K., Kobzhasarov, Z.I. (2018) Assessment of nitrate content in Yuko vegetables. *Food Processing: Techniques and Technology.* V. 48.(1) 150-155 DOI 10.21603/2074-9414-2018-1-150-155.
13. Koyka, S.V., Skorykov, V.T. (2008) Nitrates and nitrites in crop production. *Vestnik RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 3, 58–63.

Надійшла (received) 21.07.2024

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Чернушенко Олена Олександрівна (Чернушенко Елена Александровна, Chernushenko Elena Alexandrovna)** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6386-7646>; e-mail: [Linechern@gmail.com](mailto:Linechern@gmail.com).

**Колесніков Ілля Романович, (Колесников Илья Романович, Kolesnikov Ilya Romanovich)** – студент кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; e-mail: [ilak96527@gmail.com](mailto:ilak96527@gmail.com)

**О. О. ЧЕРНУШЕНКО, І. Р. КОЛЕСНИКОВ**

**ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА НАСЕЛЕННЯ НІТРАТІВ У РОСЛИННІЙ ПРОДУКЦІЇ ВИРОЩЕНОЇ НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНОГО І ІНГУЛЕЦЬКОГО ГЗК**

Важливим завданням у галузі експертизи харчової безпеки є забезпечення якості рослинної сировини та виробництво безпечної харчової продукції. Проведення досліджень на вміст нітратів у рослинницькій продукції місцевого виробництва є актуальним особливо у промислових регіонах. Багато досліджень вчених щодо впливу нітратів і нітритів на людину доводять, що вони є одним із джерел загрози здоров'ю людей. Наведено порівняльні характеристики на вміст нітратів у рослинній продукції, що реалізується на ринку та в магазинах. Вміст нітратів перевищує ГДК у ранній картоплі, що була куплена на ринку, та ранніх помідорах. Тривале навантаження нітратами навіть у малих дозах є одним із важливих токсичних факторів ризику для здоров'я населення, що знижує стійкість організму. Для досліджень було взято зразки рослинницької сільгосппродукції місцевого виробництва вирощеної на території поблизу підприємств Північного та Інгuleцького ГЗК. Встановлено рівні вмісту нітратів в основних видах харчових продуктів рослинного походження, проведено розрахунок ризиків несприятливого впливу контрольованих нітратів, що надходять рослинною продукцією, що підтвердило необхідність проведення постійного моніторингу безпеки харчової сировини. Проведено ранжування харчової продукції за вкладом у загальне значення експозиції. Найбільше навантаження на жителів регіону нітратами мг на добу надає капуста та картопля. Значення НQ склали менше одиниці. У роботі викладено основні способи зменшення вмісту нітратів у рослинницькій продукції.

**Ключові слова.** Безпека харчових продуктів, нітрати, оцінка ризику, безпека рослинної сировини, експертиза харчових продуктів, методи визначення нітратів..

N. V. CHEREMSKA

## MODELS OF CORRELATION FUNCTIONS OF NONSTATIONARY PROCESSES AND SEQUENCES FOR TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Precision technological processes for the production of modern microelectronic products require compliance with the quality of source materials, working environments, and precise adherence to regimes. Due to natural fluctuations in the properties of materials and the environment, and variable states of all technological processes, the parameters of the product and technological processes cannot be described by deterministic laws. Due to the inevitable natural properties of fluctuations in the parameters of technological equipment and its operating modes, the state variables of all technological processes are random functions of space-time coordinates. In most cases, these accidents cannot be neglected, since they all affect the output parameters of the products. The most complex mathematical models of technological systems and processes in modern theory are random spatiotemporal fields, representing both input and output characteristics, as well as parameters of the systems under consideration. The purpose of this work is to model real-valued values of correlation functions of non-stationary random processes and sequences. When constructing a correlation theory of random processes and sequences, a complex representation is widely used, i.e. random functions of the form  $\xi(t) = \xi_1(t) + i\xi_2(t), t -$  are considered: continuous or discrete time. This approach made it possible to construct a correlation theory of nonstationary random functions using the spectral theory of non-self-adjoint or unitary operators and to introduce the concept of complex spectrum. For applications of the correlation theory of nonstationary random functions and their modeling, it is convenient to deal with real-valued correlation functions. The construction of real-valued correlation functions can be carried out using the well-known fact that the real part of complex-valued correlation functions is also a correlation function (for the imaginary part this statement is unfair, since the imaginary part is a cross-correlation function of the real and imaginary parts of the corresponding random process or sequence). The resulting models of correlation functions of non-stationary random processes and sequences can be used to construct algorithms for forecasting and filtering non-stationary random functions

**Key words:** mathematical expectation, correlation function, non-stationary random function, non-stationary random sequence, quasi-deterministic signals

### Introduction.

Precision technological processes for the production of modern microelectronic products require compliance with the quality of source materials, working environments, and precise adherence to regimes. Due to natural fluctuations in the properties of materials and the environment, and variable states of all technological processes, the parameters of the product and technological processes cannot be described by deterministic laws. Due to the inevitable natural properties of fluctuations in the parameters of technological equipment and its operating modes, the state variables of all technological processes are random functions of space-time coordinates. In most cases, these contingencies cannot be neglected, since they all affect the output parameters of the products.

The most complex mathematical models of technological systems and processes in modern theory are random spatiotemporal fields, representing both input and output characteristics, as well as parameters of the systems under consideration. To solve complex technological problems, developments in modeling non-stationary random functions using correlation and poly-Gaussian methods can be used [4, 6, 7, 11, 12].

The purpose of this research is to model real values of correlation functions of non-stationary random processes and sequences.

### Analysis of the latest research.

When constructing a correlation theory of random processes and sequences, a complex representation is widely used, i.e. random functions of the form are considered  $\xi(t) = \xi_1(t) + i\xi_2(t), t -$  time is continuous or discrete [1-4, 7].

This approach made it possible to construct a correlation theory of nonstationary random functions using the spectral theory of non-self-adjoint or unitary operators and introduce the concept of complex spectrum [2]. The corresponding spectral expansions of nonstationary random functions represent, as in the stationary case, a superposition of internal states of harmonic (continuous or discrete oscillators), but with complex frequencies. New types of spectral expansions in internal states of strings (continuum harmonic oscillators) are appearing [2, 4]. For applications of the correlation theory of nonstationary random functions and their modeling, it is convenient to deal with real-valued correlation functions [7].

### Formulation of the problem.

Therefore, the problem naturally arises of constructing real-valued correlation functions, the structure of which would take into account the complex spectrum. The problem of reconstructing nonstationary random functions from a given spectrum is effectively solved for fairly wide classes of nonstationary random functions by passing to the corresponding Hilbert space and using triangular and universal operator models [2]. In this case, it is essential that the corresponding Hilbert space is necessarily a complex Hilbert space, and, therefore, the correlation functions are complex-valued correlation functions.

The construction of real-valued correlation functions can be carried out using the well-known fact that the real part of complex-valued correlation functions is also a correlation function (for the imaginary part this

© Cheremskaya N.V., 2024

statement is unfair, since the imaginary part is a mutual correlation function of the real and imaginary parts of the corresponding random process or sequence) [5]. The resulting models of correlation functions of nonstationary random processes and sequences can be used to construct algorithms for forecasting and filtering nonstationary random functions [8, 9].

Solution.

In the case of stationary random processes, the following correlation functions are very often used when analyzing experimental data [1]:

$$\begin{aligned}
 K(\tau) &= Ce^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau, \\
 (C > 0, \alpha > 0, \tau = t-s, K(\tau) = M\xi(t)\overline{\xi(s)}, \beta \in R); \\
 K(\tau) &= \frac{A}{4\alpha\omega^2} e^{-\alpha|\tau|} \left( \cos \beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta\tau \right), \\
 (\omega^2 - \alpha^2 = \beta^2 > 0); \\
 K(\tau) &= \frac{A}{4\alpha^3} e^{-\alpha|\tau|} (1 + \alpha|\tau|), (\omega^2 = \alpha^2); \\
 K(\tau) &= \frac{A}{8\alpha\beta_1\omega^2} ((\alpha + \beta_1)e^{-\alpha(\alpha-\beta_1)|\tau|} + (\alpha - \beta_1)e^{-\alpha(\alpha+\beta_1)|\tau|}), \\
 (\omega^2 - \alpha^2 = -\beta^2 < 0, \beta = i\beta_1).
 \end{aligned}$$

For stationary random sequences, correspondingly [1]:

$$\begin{aligned}
 K(0) &= 1, K(\tau) = 0 (\tau = m-n \neq 0); \\
 K(\tau) &= Ca^{|\tau|} (C > 0, |a| < 1, \tau = 0, \pm 1, \pm 2, \dots); \\
 K(\tau) &= \begin{cases} \frac{C(a-b)(1-ab)}{1-a^2} a^{|\tau|-1}, \tau \neq 0, \\ \frac{C(1-2ab+b^2)}{1-a^2}, \tau = 0, \\ C > 0, a, b \in R, |a| < 1, |b| < 1, \end{cases} \\
 K(\tau) &= \frac{C}{(a_1 - a_2)(1 - a_1 a_2)} \left( \frac{a_1}{1 - a_1^2} a_1^{|\tau|} - \frac{a_2}{1 - a_2^2} a_2^{|\tau|} \right), \\
 (a_1 \neq a_2 \in R, |a_1| < 1, |a_2| < 1, C \in R).
 \end{aligned}$$

In the theory of nonstationary random processes and sequences [2], the following representations are obtained for the correlation functions of nonstationary random processes and sequences of finite nonstationarity rank, which in the corresponding Hilbert space are generated by dissipative operators (compression).

$$K(t, s) = K_\infty(t-s) + \int_0^\infty W(t+\tau, s+\tau) d\tau, \quad (t, s > 0) \tag{1}$$

$$\left( K(n, m) = K_\infty(n-m) + \sum_{\tau=0}^\infty W(n+\tau, m+\tau) \right)$$

(in the case of asymptotic decay of a random function  $K_\infty = 0$ ).

For nonstationary random processes and sequences of finite rank (quasi-rank) of nonstationarity, representations for the functions were obtained in [2, 4]

$$W(t, s), W(n, m), V(t, s), V(n, m),$$

characterizing the deviation of the process (sequence) from the stationary (Hankel) one.

Infinitesimal correlation function

$$W(t, s) = -\frac{\partial}{\partial \tau} K(t+\tau, s+\tau) = \sum_{\alpha=1}^r \varphi_\alpha(t) \overline{\varphi_\alpha(s)},$$

characterizing the deviation of a non-stationary random process from a stationary one. A

$$W(n, m) = K(n, m) - K(n+1, m+1) = \sum_{\alpha=1}^r \varphi_\alpha(n) \overline{\varphi_\alpha(m)} - \text{correlation difference characterizing the deviation of a non-stationary random sequence from a stationary one.}$$

Moreover,

$$\begin{aligned}
 K(t, s) &= \langle \xi_t, \xi_s \rangle_{H_\xi}, \quad \xi_t = e^{itA} \xi_0 \xi_t = e^{itA} \xi_0, \\
 (K(n, m) &= \langle \xi_n, \xi_m \rangle_{H_\xi}, \quad \xi_n = T^n \xi_0) \text{ where } \xi_t (\xi_n) \text{ - is a nonstationary curve (sequence) in the corresponding Hilbert space } H_\xi.
 \end{aligned}$$

In the case when the subspaces  $\frac{A-A^*}{i}H, ((I-TT^*)H)$  are finite-dimensional, we have

$$\begin{aligned}
 V(t, s) &= -\frac{\partial}{\partial \tau} K(t+\tau, s+\tau) \Big|_{\tau=0} = i \sum_{\alpha=1}^r \varphi_\alpha(t) \overline{\varphi_\alpha(s)}, \\
 \varphi_\alpha(t) &= \langle e^{itA} \xi_0, e_\alpha \rangle, \frac{T-T^*}{i} = \sum_{\alpha=1}^r \langle \cdot, e_\alpha \rangle e_\alpha, \\
 W(n, m) &= K(n+1, m) - K(n, m+1) = i \sum_{\alpha=1}^r \varphi_\alpha(n) \overline{\varphi_\alpha(m)}, \\
 \varphi_\alpha(n) &= \langle T^n \xi_0, e_\alpha \rangle, I - T^*T = \sum_{\alpha=1}^r \langle \cdot, e_\alpha \rangle e_\alpha.
 \end{aligned}$$

It follows that to obtain representations for real-valued correlation functions, it is enough to take the real part of (1) or the corresponding scalar product. Further  $\text{Re } K(t, s)$  we will denote  $K_R(t, s), \text{Re } W(t, s)$  accordingly  $W_R(t, s)$ . From (1) we get

$$K_R(t, s) = \text{Re } K_\infty(t-s) + \int_0^\infty W(t+\tau, s+\tau) d\tau, \tag{2}$$

$$\left( K_R(n, m) = \text{Re } K_\infty(n-m) + \sum_{\tau=0}^\infty W(n+\tau, m+\tau) \right)$$

or

$$K_R(t, s) = \text{Re } K_\infty(t - s) + \int_0^\infty \sum_{\alpha=1}^r (x_\alpha(t + \tau)x_\alpha(s + \tau) + y_\alpha(t + \tau)y_\alpha(s + \tau)) d\tau.$$

Similar expressions have representations for  $K(t, s)$ ,  $K(n, m)$  in other cases.

Following representations will be obtained for the simplest non-stationary random processes and sequences. Consider a random sequence generated by a sequence in a Hilbert space  $L^2_{[0,1]}$  of the form  $\eta_n = T^n \eta_0$ , where  $T$  – a non-self-adjoint bounded operator of the form [2]

$$Tf(x) = \lambda_0 f(x) + i \int_0^1 \varphi(x) \overline{\varphi(x)} f(y) dy,$$

$$\lambda_0 = \alpha_0 + i\beta_0 \neq \overline{\lambda_0}, \quad (\dim \text{Im } TL^2_{[0,1]} = \infty).$$

This sequence in a complex Hilbert space generates a real-valued correlation function of the form:

$$K_R(n, m) = r_0^{n+m} \cos(n - m) \varphi_0 \|\hat{f}_0(x)\|^2 + r_1^{n+m} \cos(n - m) \varphi_1 \|\hat{f}_1(x)\|^2 + r_0^n r_1^m (a \cos(n\varphi_0 - m\varphi_1) + b \sin(m\varphi_1 - n\varphi_0)) + r_1^n r_0^m (a \cos(n\varphi_1 - m\varphi_0) + b \sin(n\varphi_1 - m\varphi_0)),$$

where

$$r_0 = \sqrt{\alpha_0^2 + \beta_0^2}, \quad r_0 < 1, \quad \varphi_0 = \arctg \frac{\beta_0}{\alpha_0},$$

$$\hat{f}_0(x) = f_0(x) - \frac{\alpha_0 \varphi(x)}{\gamma},$$

$$\gamma = \int_0^1 \varphi(x) \overline{\varphi(x)} dx, \quad a = \text{Re} \langle \hat{f}_0(x), \hat{f}_1(x) \rangle,$$

$$b = \text{Im} \langle \hat{f}_0(x), \hat{f}_1(x) \rangle.$$

Let us consider a more general case of a nonstationary random process in  $L^2_{[0,1]}$  of the form  $\xi_t = e^{itA} \xi_0$ , where

$$Af(x) = a(x)f(x) + i \int_0^1 \varphi(x) \overline{\theta(x)} f(y) dy, \quad a(x) = \overline{a(x)}.$$

Then

$$u(x, t) = e^{it a(x)} f_0(x) - \varphi(x) \int_0^t e^{i(t-s)a(x)} \varphi(x) \gamma(s) ds,$$

where  $\gamma(s)$  is the solution to the Volterra integral equation

$$\gamma(t) = \gamma_0(t) - \int_0^t G(t-s) \gamma(s) ds,$$

$$\gamma_0(t) = \int_0^t e^{ia(x)} \varphi(x) \overline{\theta(x)} dx, \quad G(t-s) = \int_0^1 e^{i(t-s)a(x)} \varphi(x) \overline{\theta(x)} dx$$

In particular,

a) if  $a(x) = -x, \varphi(x) = x, \theta(x) = \overline{\theta(x)} = 1$ ,

$$G(t-s) = \int_0^1 x e^{-i(t-s)x} dx = \frac{i}{t-s} e^{-i(t-s)} + \frac{1}{(t-s)^2} e^{-i(t-s)} - \frac{1}{(t-s)^2},$$

b) if  $a(x) = x, \varphi(x) = x, \theta(x) = \overline{\theta(x)} = 1 - x$ ,

$$G(t-s) = \int_0^1 x(1-x) e^{-i(t-s)x} dx = \frac{2(e^{i(t-s)} - 1)}{i(t-s)^3} - \frac{1}{(t-s)^2} e^{i(t-s)} - \frac{1}{(t-s)^2},$$

c) if  $a(x) = x, \varphi(x) = x, \theta(x) = \overline{\theta(x)} = 1 - x^2$ ,

$$G(t-s) = \int_0^1 x(1-x^2) e^{-i(t-s)x} dx = \frac{-1 - 2e^{i(t-s)}}{(t-s)^2} + \frac{6e^{i(t-s)}}{i(t-s)^3} + \frac{6(e^{i(t-s)} - 1)}{(t-s)^4}.$$

Let's consider  $u(x, t) = e^{itA} f_0(x)$ , where  $A$  – limited dissipative operator in  $l_2$  of the form [2]:

$$(Af)_k = \lambda_k f_k + i \sum_{j=k+1}^N f(j) \beta_j \beta_k \left( k = 1, 2, \dots, N, \quad \lambda_k = \alpha_k + i \frac{\beta_k^2}{2} \right).$$

Then the correlation function has the form

$$K(t, s) = \int_0^\infty \varphi(t + \tau) \overline{\varphi(s + \tau)} d\tau,$$

where  $\varphi(t) = \sum_{k=1}^{N < \infty} C_k \overline{\Lambda_k(t)}$  and

$$\Lambda_k(t) = -\frac{1}{2\pi i} \oint_\gamma e^{i\lambda t} \frac{\beta_k}{\lambda_k - \lambda} \prod_{j=1}^{k-1} \frac{\lambda_j - \lambda}{\lambda_j - \lambda} d\lambda, \quad \gamma -$$

circuit covering the entire spectrum of the operator  $A$ .

$$\overline{\Lambda_1(t)} = -\frac{1}{2\pi i} \oint_\gamma e^{i\lambda t} \frac{\beta_1}{\lambda_1 - \lambda} d\lambda = \beta_1 e^{i\lambda_1 t},$$

$$\overline{\Lambda_2(t)} = -\frac{1}{2\pi i} \oint_\gamma e^{i\lambda t} \frac{\beta_2}{\lambda_2 - \lambda} \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda}{\lambda_1 - \lambda} d\lambda = \beta_2 e^{i\lambda_2 t} \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} + e^{i\lambda_1 t} \frac{i\beta_2 \beta_1^2}{\lambda_1 - \lambda_2}, \quad \lambda_1 \neq \lambda_2,$$

$$\overline{\Lambda_3(t)} = -\frac{1}{2\pi i} \oint_\gamma e^{i\lambda t} \frac{\beta_3}{\lambda_3 - \lambda} \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda}{\lambda_1 - \lambda} \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda}{\lambda_2 - \lambda} d\lambda = \beta_3 e^{i\lambda_3 t} \frac{\lambda_1 - \lambda_3}{\lambda_1 - \lambda_3} + e^{i\lambda_2 t} \frac{i\beta_3 \beta_2^2}{\lambda_2 - \lambda_3} \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} + e^{i\lambda_1 t} \frac{i\beta_3 \beta_1^2}{\lambda_1 - \lambda_3} \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad \lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3,$$

if  $\lambda_1 = \lambda_2 \neq \lambda_3$ ,

Thus, for modeling real-valued correlation functions of the simplest non-stationary random processes (sequences), a simple algorithm is obtained:

We consider a complex Hilbert space  $L_2(\Omega)$ , which is a subspace of the Hilbert space; then we consider a curve (sequence)  $\hat{\xi}_t = e^{itA} \xi_0$ ,  $(\hat{\xi}_n = T^n \xi_0)$  in this space.

Then, for various classes of non-self-adjoint (non-unitary) operators  $A$  ( $T$ ), the scalar product is calculated, which is the correlation function of the original ones  $\xi_t$  ( $\xi_n$ ). When calculating the scalar product, you can go to unitarily equivalent elements, which allows you to use model (triangular, functional, universal) representations of the operator  $A$  ( $T$ ). Calculation  $\text{Re} \langle \hat{\xi}_t, \hat{\xi}_s \rangle_{H_\xi} \left( \text{Re} \langle \hat{\xi}_n, \hat{\xi}_m \rangle_{H_\xi} \right)$  leads to the desired result.

Similar representations of real-valued correlation functions can be obtained for inhomogeneous continuous and discrete fields [6, 7, 11, 12].

The simplest forecast algorithm uses the values of a random function at one point in time  $\xi(t_0)$ .

#### Conclusions and directions for further research

The main results obtained in this article were used in the operation of technological quality assurance systems for microelectronics products. From the above relations it is easy to see that to represent the parameters of a real technological process in the form of a Gaussian random process (or random field), it is enough to select the average value and the correlation function at any given time (or at any point in space) and the correlation coefficients between the readings.

#### Список літератури

1. Яглом А.М. Введение в теорию стационарных случайных функций // УМН. 1952. Том 1. – Вып.5(51),– С. 3–168.
2. Лившиц М.С., Янцевич А.А. Теория операторных узлов в гильбертовых пространствах / Х: ХГУ, 1971. – 160с.
3. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций // М.: Наука, 1968. – 463с.
4. Черемская Н.В. О моделировании некоторых классов нестационарных случайных последовательностей при помощи треугольных моделей операторов // Радиотехника. 2003. – Вып. 132. – С.70–77.
5. Лоэв М. Теория вероятностей / М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1962. – 719с.
6. Черемская Н.В. Последовательности в гильбертовом пространстве, определяемые уравнениями в частных разностях // Вісник Харківського університету, сер. Математика, прикладна математика і механіка. 2000. – №475. – С. 366–374.
7. Черемська Н.В. Моделювання дійснозначних кореляційних функцій з урахуванням комплексного спектру. //Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. № 6 (1228) 2017.
8. Cheremskaya N. V. Developing algorithms of optimal forecasting and filtering for some classes of nonstationary random sequences // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – № 3 (1279) 2018. – С. 139–145.

At the same time, a prerequisite for creating automatic process control systems is the construction of adequate models of all operations included in the controlled technological process and an exhaustively complete description of all disturbing influences. For example, for the chemical etching process, which is widely used in microelectronics technology, the equipment modes (etching temperature, etching type, bath or reactor size, and thickness and material of the etching layer) are selected in advance and remain unchanged during the operation. However, the etching rate, which largely determines the final result (material removal, minimal dimensional distortion, etching selectivity, etc.), changes due to changes over time in such influences as the concentration of etching particles at the surface of the solid phase, temperature changes due to heat release during reactions, features of the microtexture of the material, different kinetics of etching along the depth of the material.

If we consider the etching operation as a process occurring precisely on the surface of the solid phase, then all these variable influences can be considered external. In addition, over time, the parameters of technological equipment, feedstock and external conditions change. These changes are often random and lead to the so-called a priori insufficiency, that is, to a lack of information about the operating conditions of the control object. To overcome a priori insufficiency, they use the creation of adaptive, that is, automated control systems that adapt to changing conditions. A model of a nonstationary random process that displays the dependence of the etching wedge on the thickness of the photoresistive mask is considered in [10].

9. Cheremskaya N. V. Dependence of prognosis and filtration failure on different values of parameters for some classes of non-stationary random sequences // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. № 8 (1333) 2019.
10. Антонова В.А., Петрова А.Ю., Черемська Н.В., Янцевич А.А. Застосування моделей нестационарних випадкових процесів до операції хімічного рідинного травління в технологічних процесах мікроелектроніки // Сборник научных трудов 1-й Международной конференции «Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития».– Харьков – Судак, 2008. –Том III. – С. 116-119.
11. Петрова А.Ю. Восстановление случайных полей по корреляционным функциям // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. науч. тр. Вып. «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Х., НТУ «ХПИ», 2003.– №6. – Т.1. – С. 174-182.
12. Петрова А.Ю. Корреляционная теория некоторых классов нестационарных случайных функций конечного ранга нестационарности // Радиотехника и информатика.- 2007. - №1. - С.29-34.

#### References (transliterated)

1. Yaglom A.M. Vvedeniye v teoriyu statsionarnykh sluchaynykh funktsiy // UMN. – 1952. –Tom 1. – Вып.5(51),– С.3-168.
2. Livshits M.S., Yantsevich A.A. Teoriya operatornykh uzlov v gil'bertovykh prostranstvakh / Khar'kov: Izd-vo KHGU, 1971. – 160s.

3. Sveshnikov A.A. Prikladnyye metody teorii sluchaynykh funktsiy // M.: Nauka, 1968. 463 p.
4. Cheremskaya N.V. O modelirovanii nekotorykh klassov nestatsionarnykh sluchaynykh posledovatel'nostey pri pomoshchi treugol'nykh modeley operatorov // Radiotekhnika. – 2003. – Vyp. 132. – Pp.70-77.
5. Loev M. Teoriya veroyatnostey / M.: Izd-vo inostr. lit-ry – 1962. – 719 p.
6. Cheremskaya N.V. Posledovatel'nosti v gil'bertovom prostranstve, opredelyayemye uravneniyami v chastnykh raznostyakh // Visnik Kharkivs'kogo universitetu, ser. Matematika, prikladna matematika i mekhanika. – 2000. – 475. – Pp. 366-374.
7. Cherem'ska N.V. Modelyuvannya diysnoznachnykh korelyatsiynikh funktsiy z urakhuvannam kompleksnogo spektru. // Visnik NTU «KhPI». Seriya: Matematichne modelyuvannya v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. № 6 (1228) 2017.
8. Cheremskaya N. V. Developing algorithms of optimal forecasting and filtering for some classes of nonstationary random sequences // Visnik NTU «KhPI». Seriya: Matematichne modelyuvannya v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2018. – № 3 (1279) 2018. – Pp. 139-145.
9. Cheremskaya N. V. Dependence of prognosis and filtration failure on different values of parameters for some classes of non-stationary random sequences // Visnik NTU «KhPI». Seriya: Matematichne modelyuvannya v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. № 8 (1333) 2019.
10. Antonova V.A., Petrova A.YU., Cherem'ska N.V., Yantsevich A.A. Zastosuvannya modeley nestatsionarnykh vipadkovykh protsesiv do operatsii khimichnogo ridinnogo travlinnya v tekhnologichnykh protsesakh mikroyelektorniki // Sbornik nauchnykh trudov 1-y Mezhdunarodnoy konferentsii «Elektoronnaya komponentnaya baza. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya». – Khar'kiv – Sudak, 2008. – Tom III. – Pp. 116-119.
11. Petrova A.YU. Vosstanovleniye sluchaynykh poley po korrelyatsionnym funktsiyam // Vestnik NTU «KhPI». Sb. nauch. tr. Vyp.. «Sistemnyy analiz, upravleniye i informatsionnyye tekhnologii». – Kh., NTU «KhPI», 2003.– №6. – T.1. – Pp. 174-182.
12. Petrova A.YU. Korrelyatsionnaya teoriya nekotorykh klassov nestatsionarnykh sluchaynykh funktsiy konechnogo ranga nestatsionarnosti // Radioelektronika i informatika. 2007. №1. Pp.29-34

*Надійшла (received) 19.06.2024*

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Черемська Надія Валентинівна (Черемская Надежда Валентиновна, Cherem'ska Nadezhda Valentinovna)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; тел.: (050) 225-15-44; e-mail: cheremskaya66@gmail.com.

**Н. В. ЧЕРЕМСЬКА**

**МОДЕЛІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

Прецизійні технологічні процеси виробництва сучасних мікроелектронних виробів потребують дотримання якості вихідних матеріалів, робочих середовищ, точності дотримання режимів. Параметри виробу та технологічних процесів через природні флуктуації властивостей матеріалів та навколишнього середовища, змінних станів усіх технологічних процесів не можуть бути описані детермінованими закономірностями. Через немінучі природні властивості флуктуацій параметрів технологічного обладнання та режимів його роботи змінні стани всіх технологічних процесів є випадковими функціями просторово-часових координат. Найчастіше цими випадковостями знехтувати не вдається, оскільки вони впливають на вихідні параметри виробів. Найбільш складними в сучасній теорії математичними моделями технологічних систем і процесів є випадкові просторово-часові поля, що представляють як вхідні та вихідні характеристики, так і параметри систем, що розглядаються. Метою даної є моделювання дійснозначних значень кореляційних функцій нестационарних випадкових процесів і послідовностей. При побудові кореляційної теорії випадкових процесів і послідовностей широко використовується комплексне уявлення, тобто розглядаються випадкові функції виду:  $\xi(t) = \xi_1(t) + i\xi_2(t)$ ,  $t$  – час неперервний або дискретний. Такий підхід дозволив побудувати кореляційну теорію випадкових нестационарних функцій за допомогою спектральної теорії несамоспряжених або унітарних операторів і ввести поняття комплексного спектру. Для застосувань кореляційної теорії нестационарних випадкових функцій та їх моделювання зручно мати справу із дійснозначними кореляційними функціями. Побудову дійснозначних кореляційних функцій можна здійснити, використовуючи той відомий факт, що дійсна частина комплекснозначних кореляційних функцій також є кореляційною функцією (для уявної частини це твердження несправедливо, тому що уявна частина є взаємною кореляційною функцією дійсної та уявної частин). Отримані моделі кореляційних функцій випадкових нестационарних процесів і послідовностей можуть бути використані для побудови алгоритмів прогнозу і фільтрації нестационарних випадкових функцій.

**Ключові слова:** кореляційна функція, нестационарна випадкова функція, нестационарна випадкова послідовність, спектральна теорія не самоспряжених або унітарних операторів, кореляційна різниця



С. П. ІГЛІН

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СУЧАСНИХ СОЦІАЛЬНИХ ВІДНОСИН

Сучасні підходи до дослідження математичних методів моделювання дозволяють розглядати суспільство як складну систему та застосовувати методи, апробовані насамперед у різновидах розвитку галузей науки. Слід зазначити, що підходи, які базуються на застосуванні точних методів і математичному формалізмі, наприклад, імітаційного моделювання, насправді, можуть давати переважно якісні висновки, що обумовлюється багатопараметричністю соціально-правових моделей. Аналіз стану напряму моделювання у соціальній та правовій сферах свідчить про те, що воно входить у стадію зростання у всьому світі. Зростає й розуміння важливості цього напряму як з боку наукового співтовариства, так і з боку практичної соціології, правознавства і економіки. Спільнота людей з відносинами між ними моделюється орієнтованим графом зі зваженими вершинами та дугами. Знаходяться групи взаємного впливу, лідери, аутсайдери, обчислюються ступені впливу одних людей на інших.

**Ключові слова:** математичні методи та моделі, оргграф, вершина, дуга, вага, ступінь впливу.

**Вступ за науковим аналізом напрямків дослідження літературних джерел.** Дослідження соціальних мереж завжди викликало зацікавленість науковців та бізнесменів. Виявлення груп впливу, лідерів, аутсайдерів, ступеня впливу одних людей на інших, швидкості поширення інформації, новин, чуток – на всі ці питання потрібно відповісти, щоб краще прогнозувати поведінку суспільства та (або) просування товару на ринку.

Приклади подальшого застосування визначених математичних методів та моделей надають інноваційні відомості з практики дослідження міжнародних ситуацій і процесів для встановлення взаємозв'язків між суб'єктами міжнародних відносин, виявлення не очевидних ресурсів та можливостей взаємодії на міжнародній арені, прогнозування майбутніх станів та перевірки гіпотез про ймовірні сценарії розвитку ситуації й можливі сценарії дій [1–10].

**Попередні дослідження за метою сучасного дослідження** Представлення соціальних мереж та інших спільнот людей у вигляді графів розглядається у [3, 4, 7] та багатьох інших роботах. Наша мета – дослідження впливу одних людей на інших, тому будемо використовувати орієнтовані графи (оргграфи)

[2]. Не завжди параметри поведінки людей можна визначити точно. Інколи вони можуть бути задані лише через їхні статистичні характеристики. Це викликає необхідність застосування графів з випадковими параметрами [1, 8, 9].

Метою роботи є дослідження взаємного впливу спільноті людей (трудовому колективі, студентській групі, мешканцях міста, громадянах країни) в звичайних умовах та в умовах підвищеного ризику (надзвичайних ситуаціях, епідеміях, війнах тощо).

**Математична модель як основа інноваційного аналізу** Будемо розглядати людей як вершини оргграфа, а вплив однієї людини на іншу позначати стрілкою (тобто дугою оргграфа). Одні люди є більш впливовими за інших. Числовою характеристикою рівня впливовості людини тоді можна вважати вагу вершини  $v_i$  – невід'ємне число  $b_i \in [0; 1]$ . Нульова вага вершини відповідає людині, чия думка нікого не цікавить, а одинична – лідеру думок. З іншого боку, дуги теж можна вважати зваженими, оскільки різні люди впливають один на одного по-різному. Позначимо вагу кожної дуги  $e_k$  як  $c_k \in [0; 1]$ . Тут також нульова вага дуги свідчить про відсутність впливу однієї людини на іншу, а одинична – про абсолютний вплив.

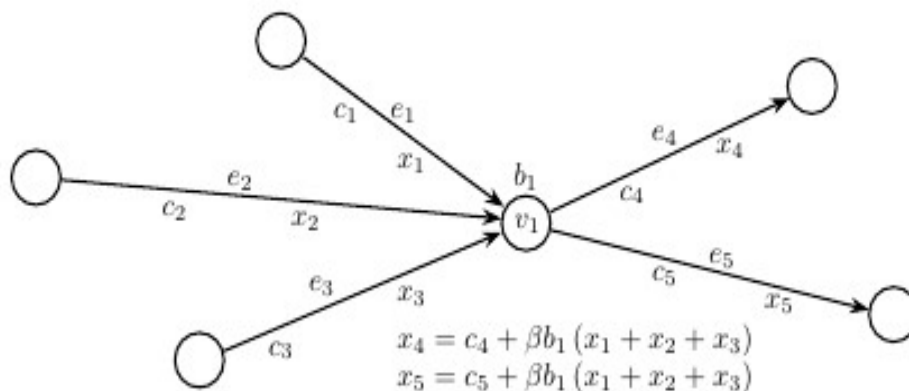


Рис. 1 – Формування додаткового впливу

© Іглін С.П., 2024

Ми використовуємо нормовані значення ваг вершин і дуг, щоб легше було проводити дослідження та робити висновки.

У звичайних умовах така математична модель характеризує сталий стан суспільства. Але при настанні надзвичайної ситуації стан спільноти змінюється. Кожна людина, як відчуває на собі вплив інших людей, сама передає цей вплив іншим додатково до того, що був у сталому стані. І ступінь цього додаткового впливу визначається впливовістю людини, тобто вагою відповідної вершини орграфа.

На рис. 1 показаний приклад формування додаткового впливу, що виникає при надзвичайних ситуаціях. Нехай на людину (вершина  $v_1$  з вагою  $b_1$ ) впливають три людини (дуги  $e_1, e_2, e_3$  з вагами відповідно  $c_1, c_2, c_3$ ). У свою чергу, людина  $v_1$  сама впливає на двох людей (дуги  $e_4, e_5$  з вагами відповідно  $c_4, c_5$ ). У звичайних умовах вплив однієї людини на іншу визначається вагою відповідної дуги. Але при настанні важливих подій або надзвичайних ситуацій людина  $v_1$  починає передавати вплив, отриманий від своїх "попередників", своїм "наступникам". Цей додатковий вплив залежить від рівня впливовості людини (тобто ваги вершини) та деякого коефіцієнту послаблення  $\beta$ . Додатковий вплив накладається на основний. Позначимо ступені підвищеного впливу в кожній  $k$ -й дузі як  $x_k$ . При звичайних умовах  $\beta = 0 \Rightarrow \forall x_k = c_k$ . Якщо ж  $\beta \neq 0$ , то значення всіх  $x_k$  складаються з основних впливів  $c_k$  та додаткових. Їх можна знайти з розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} x_k - \beta b_i \sum_{\forall j} x_j = c_k; \\ k = \overline{1, m}. \end{cases} \quad (1)$$

Тут  $i$  – номер початкової вершини для дуги  $e_k$ ,  $j$  – номери дуг, для яких  $v_j$  є кінцевою вершиною.

Для дослідження та розв'язання системи (1) можна використовувати звичайні методи лінійної алгебри.

#### Чисельні експерименти за розробленими алгоритмами

Дослідження запропонованої моделі соціальних відносин проводилися в середовищі MATLAB [5, 6].

Для чисельних розрахунків був згенерований оргграф з  $n = 100$  вершинами та  $m = 1000$  дугами. Дуги поєднують вершини з випадковими номерами; розподіл номерів вершин — дискретний рівномірний на множині  $\{1, 2, \dots, n\}$ . Ваги вершин і дуг теж задавалися випадковими, але вже з неперервним рівномірним розподілом на відрізку  $[0; 1]$ .

Далі цей граф спрощувався: з нього були видалені петлі, а з кратних дуг залишені лише по одній, з максимальною вагою. В результаті залишилося  $m = 938$  дуг.

Дослідження структури цього графа показали, що в ньому всі вершини поєднані в одну компоненту сильної зв'язності: з кожної вершини можна дістатися в кожную іншу, рухаючись уздовж дуг. Це свідчить про те, що у відповідній соціальній мережі немає явних лідерів та аутсайдерів: кожна людина напряму чи опосередковано впливає на кожную іншу.

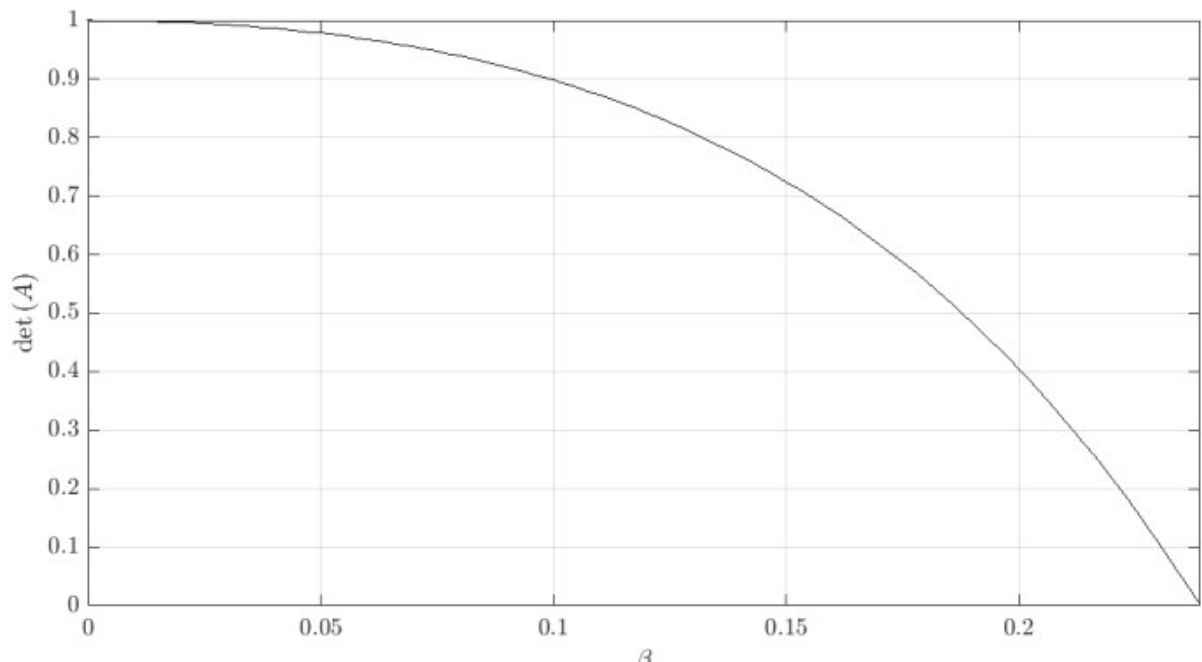
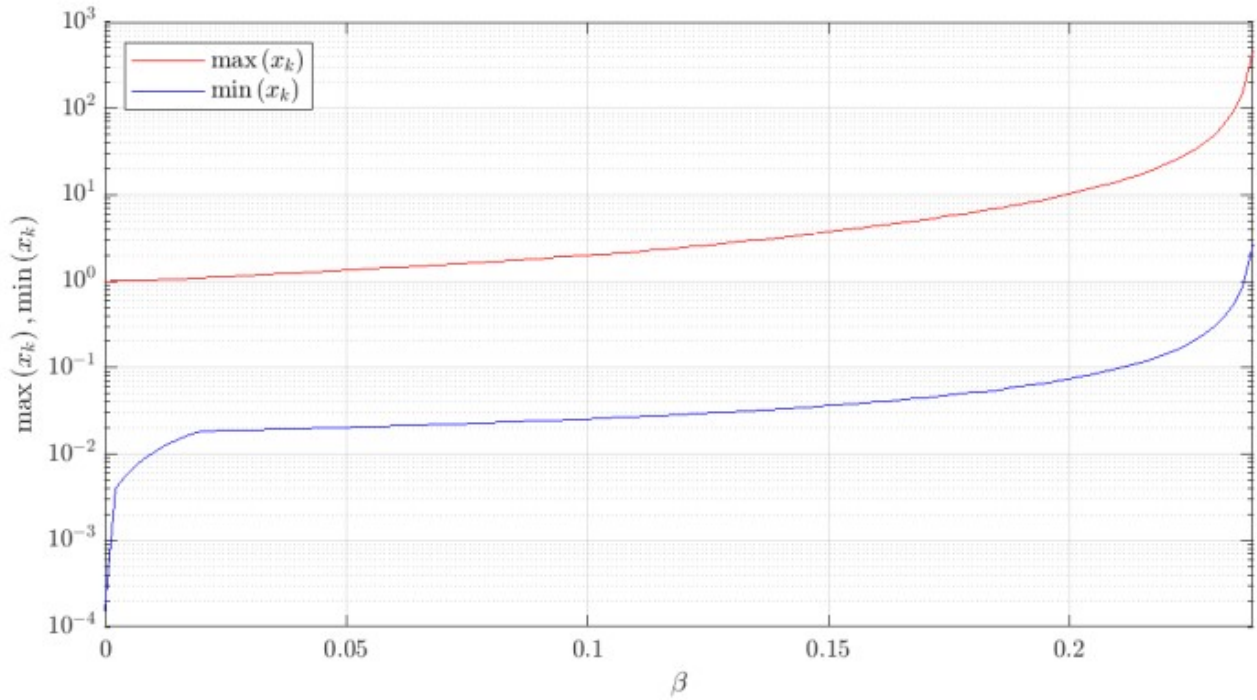
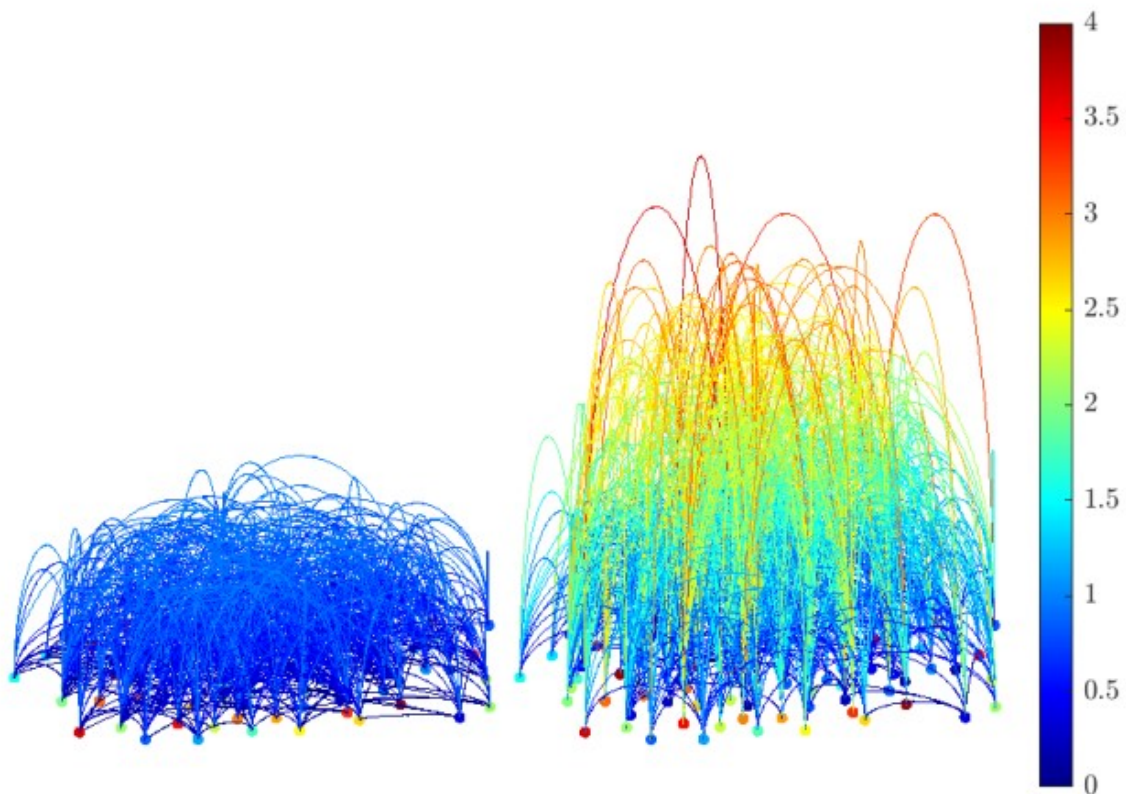


Рис. 2 – Залежність визначника матриці системи (1) від  $\beta$

Рис. 3. Залежність  $\max(x_k)$  та  $\min(x_k)$  від  $\beta$ Рис. 4. Ступені впливу при  $\beta = 0$  (ліворуч) та  $\beta = 0.15$  (праворуч)

Дослідимо далі властивості системи рівнянь (1). Матриця коефіцієнтів біля невідомих у ній має таку структуру:

$$A = E - \beta B, \quad (2)$$

де  $E$  — одинична матриця, а  $B$  — матриця, у якій в кожному  $k$ -у рядку є тільки числа  $b_{kj}$ , де  $v_k$  — початкова вершина дуги  $e_{kj}$ . Ці числа  $b_{kj}$  містяться в компонентах рядка з номерами  $j$ , де  $e_{kj}$  — дуги, що передують дузі  $e_{kk}$ .

З огляду на таку структуру матриці  $A$ , ті значення  $\beta$ , при яких система (1) вироджуються, є власними значеннями пари матриць  $(E, B)$ . У загальному випадку матриця  $B$  несиметрична, тому власні значення пари  $(E, B)$  не обов'язково дійсні. Нас цікавить найменше дійсне додатне власне значення, яке дорівнює  $\beta \approx 0.238943$ . При збільшенні параметру  $\beta$  від нуля до цього значення визначник системи (1) прямує до нуля, як показано на рис. 2.

При наближенні  $\beta$  до цього значення максимальні координати  $x_k$  зростають до нескінченності (рис. 3). З точки зору соціальних відносин це свідчить про зростання напруги в суспільстві: ступені впливу одних людей на інших збільшуються, і при деякому значенні  $\beta$  напруга зростає до критичного рівня.

На рис. 4 показані ступені впливу при збільшенні параметру  $\beta$  від нуля до 0.15. Колір крапки — це рівень впливовості людини (вага відповідної вершини), а колір та висота дужки — загальний ступінь впливу. Якщо при  $\beta = 0$  максимальний ступінь впливу не перевищував одиниці, то при значення  $\beta = 0.15$  він сягає майже чотирьох.

Велике значення у вирішенні наукових проблем дослідження відводиться підготовці відповідної науково-технічної літератури, що пояснює схему та логіку прийняття технологічних рішень та має у своєму складі приклади, розрахунки, алгоритми дії та необхідні довідкові дані

**Висновки та перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного навчання за різновидами дисциплін [11–30].**

1. Запропонована модель соціальних відносин у вигляді орграфа зі зваженими вершинами та дугами.
2. Ця модель враховує рівень впливовості людини (вага вершини) та силу впливу (вага дуги).
3. Модель дозволяє виявляти групи взаємного впливу (компоненти сильної зв'язності), лідерів (вершини без вхідних дуг) та аутсайдерів (вершини без вихідних дуг).
4. У моделі можна досліджувати зростання напруги в суспільстві при зростанні коефіцієнту послаблення додаткового впливу  $\beta$ .

5. Запропонована модель відкрита для подальших перспективних напрямків розвитку наукових досліджень, удосконалень та уточнень.

#### Список літератури

1. An introduction to exponential random graph ( $\mathcal{P}^*$ ) models for social networks / G. Robins, P. Pattison, Y. Kalish, D. Lusher // *Social Networks*. — 2007. — Vol. 29, no. 2. — P. 173–191.
2. Bang-Jensen J. *Digraphs: Theory, Algorithms and Applications* / J. Bang-Jensen, G. Gutin. — Berlin : Springer-Verlag, 2007. — 754 p.
3. Barnes J. A. *Graph Theory and Social Networks: A Technical Comment on Connectedness and Connectivity* / J. A. Barnes // *Sociology*. — 1969. — Vol. 3, no. 2. — P. 215–232.
4. Hanneman R. A. *Introduction to Social Network Methods* / R. A. Hanneman, M. Riddle. — Riverside : University of California, 2005. — 284 p.
5. MATLAB® Mathematics . — Natick, MA : The MathWorks, Inc., 2024. — 856 p.
6. Mathworks. — 2024. — <https://www.mathworks.com/>.
7. Nettleton D. F. Data mining of social networks represented as graphs / D. F. Nettleton // *Computer Science Review*. — 2013. — Vol. 7. — P. 1–34.
8. Rezvanian A. Stochastic graph as a model for social networks / A. Rezvanian, M. R. Meybodi // *Computers in Human Behavior*. — 2016. — Vol. 64. — P. 621–640.
9. Robins G. Random graph models for temporal processes in social networks / G. Robins, P. Pattison // *The Journal of Mathematical Sociology*. — 2001. — Vol. 25, no. 1. — P. 5–41.
10. Robins G. Random graph models for temporal processes in social networks / G. Robins, P. Pattison // *The Journal of Mathematical Sociology*. — 2001. — Vol. 25, no. 1. — P. 5–41.
11. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
12. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
13. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології переробки плодоовочевої сировини), 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підр. з грифом. К: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
14. Бухкало С.І., Ігліч С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 208 с.
15. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-пр. конф. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. — Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
16. Ольховська В.О., Кравченко О.С., Бухкало С.І. Складові алгоритми пошуку раціональних закономірностей роботи обладнання. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-

- практичної конференції MicroCAD-2020, 28-30 жовтня Ч. II/за ред. проф. Сокола Є.І. – Х: НТУ «ХПІ», с. 249.
17. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
  18. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442. <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/186442>.
  19. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
  20. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х., 2014. № 16. С. 3–11.
  21. Бухкало С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 84–93. doi: 10.20998/22204784.2019.21.13
  22. Бухкало С.І. Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 7 (1116), с. 103–108.
  23. Бухкало С.І. Комплексні інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування.. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
  24. Бухкало С.І., Іглін С.П., Кравченко В.О., Копейченко С.А, Назаренко М.В. Приклади та задачі комплексного викладання дисципліни харчова хімія. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 89–96.
  25. Бухкало С.І. Комплексні системи викладання дисципліни основи проектування обладнання хімічних виробництв як співпраця асоціацій EFCE та CFE-UA. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 13–22.
  26. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
  27. Бухкало С.І., Н. В. Якименко-Терещенко. Приклади комплексного викладання дисциплін – інноваційні ресторани технології, товарознавство та управління закупівлями. Вісник НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (1365), с. 12–23.
  28. Бухкало С.І., Іглін С.П., Кравченко В.О., Копейченко С.А, Назаренко М.В. Приклади та задачі комплексного викладання дисципліни харчова хімія. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 89–96.
  29. Бухкало С.І. Комплексні системи викладання дисципліни основи проектування обладнання хімічних виробництв як співпраця асоціацій EFCE та CFE-UA. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 13–22.
  30. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.

## References (transliterated)

1. An introduction to exponential random graph (p\*) models for social networks / G. Robins, P. Pattison, Y. Kalish, D. Lusher // Social Networks. — 2007. — Vol. 29, no. 2. — P. 173–191.
2. Lusher // Social Networks. — 2007. — Vol. 29, no. 2. — P. 173–191.
3. Bang-Jensen J. Digraphs: Theory, Algorithms and Applications / J. Bang-Jensen, G. Gutin. — Berlin : Springer-Verlag, 2007. — 754 p.
4. Barnes J. A. Graph Theory and Social Networks: A Technical Comment on Connectedness and Connectivity / J. A. Barnes // Sociology. — 1969. — Vol. 3, no. 2. — P. 215–232.
5. Hanneman R. A. Introduction to Social Network Methods / R. A. Hanneman, M. Riddle. — Riverside : University of California, 2005. — 284 p.
6. MATLAB® Mathematics . — Natick, MA : The Math-Works, Inc., 2024. — 856 p.
7. Mathworks. — 2024. — <https://www.mathworks.com/>.
8. Nettleton D. F. Data mining of social networks represented as graphs / D. F. Nettleton // Computer Science Review. — 2013. — Vol. 7. — P. 1–34.
9. Rezvani A. Stochastic graph as a model for social networks / A. Rezvani, M. R. Meybodi // Computers in Human Behavior. — 2016. — Vol. 64. — P. 621–640.
10. Robins G. Random graph models for temporal processes in social networks / G. Robins, P. Pattison // The Journal of Mathematical Sociology. — 2001. — Vol. 25, no. 1. — P. 5–41.
11. Robins G. Random graph models for temporal processes in social networks / G. Robins, P. Pattison // The Journal of Mathematical Sociology. — 2001. — Vol. 25, no. 1. — P. 5–41.
12. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiїv «Centr uchbovoї literaturi»: 2018, 108 p.
13. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii krohmalju). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. K «Centr uchbovoї literaturi»: 2019, 108 p.
14. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoї sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K: «CNL»: 2022, 108 p.
15. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov's'ka O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. H :NTU «KhPI». 208 p.
16. Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noї tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». 217 p.
17. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 138–144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.

18. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 66–73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442>.
19. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaf and calendula extracts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
20. Bukhhalo S.I. Udostonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishhiv navchal'nih zakladiv. *Visnik NTU «KhPI»*. Kh.: 2014. № 16. S. 3–11.
21. Bukhhalo S.I. Mozhlivosti rozvitku tehnologij modifikovanih krohmali. *Visnik NTU «KhPI»*. – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346). – pp. 84–93. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
22. Bukhhalo S.I. Osnovni skladovi kompleksnih pidpriemstv energetichnogo miks. *Visnik NTU «KhPI»*. 2015. № 7 (1116), pp. 103–108.
23. Bukhhalo S.I. Kompleksni innovacijni sistemi vkladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
24. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Kravchenko V.O., Kopejchenko E.A., Nazarenko M.V. Prikladi ta zadachi kompleksnogo vkladannja disciplini harchova himija. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 89–96.
25. Bukhhalo S.I. Kompleksni sistemi vkladannja disciplini osnovi proektuvannja obladannja himichnih virobniectv jak spivpracija asociacij EFCE ta CFE-UA. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 13–22.
26. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoï masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
27. Bukhhalo S.I., N.V. Jakimenko-Tereshhenko. Prikladi kompleksnogo vkladannja disciplin – innovacijni restoranni tehnologii, tovaroznavstvo ta upravlinnja zakupivljami. *Visnik NTU «KhPI»*. 2023. № 1(1365), pp. 12–23.
28. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Kravchenko V.O., Kopejchenko E.A., Nazarenko M.V. Prikladi ta zadachi kompleksnogo vkladannja disciplini harchova himija. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 89–96.
29. Bukhhalo S.I. Kompleksni sistemi vkladannja disciplini osnovi proektuvannja obladannja himichnih virobniectv jak spivpracija asociacij EFCE ta CFE-UA. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 13–22.
30. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoï masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. *Visnik NTU «KhPI»*. 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.

Надійшла (received) 19.06.2024

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Іглін Сергій Петрович (Iglin Sergii Petrovych)** – кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», професор кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9144-7427>;

e-mail: [iglin@ukr.net](mailto:iglin@ukr.net)

#### S. P. IGLIN

#### RESEARCH AND ANALYSIS OF THE FEATURES OF MATHEMATICAL MODELS OF MODERN SOCIAL RELATIONS

Modern approaches to the study of mathematical modeling methods make it possible to consider society as a complex system and to apply methods tested primarily in the varieties of the development of scientific fields. It should be noted that approaches that are based on the application of exact methods and mathematical formalism, for example, simulation modeling, in fact, can give mostly qualitative conclusions, which is due to the multi-parameter nature of socio-legal models. An analysis of the state of modeling in the social and legal spheres shows that it is entering a stage of growth throughout the world. The understanding of the importance of this direction is growing both on the part of the scientific community and on the part of practical sociology, jurisprudence and economics. A community of people with relationships between them is modeled as a directed graph with weighted vertices and arcs. There are groups of mutual influence, leaders, outsiders, the degrees of influence of some people on others are calculated.

**Keywords:** mathematical methods and models, digraph, vertex, arc, weight, degree of influence, definition of example models.

**В. М. КОВАЛЬЧУК, М. Л. ЗЕМЕЛЬКО, С. І. БУХКАЛО**

## ПРИКЛАДИ ДОСПІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Розробка функціональних продуктів – важливий процес для сучасних виробників. Такі продукти мають високі органолептичні показники і підвищену харчову цінність. У роботі розглянуті приклади з визначення інноваційних можливостей виготовлення м'ясних виробів та дослідження впливу функціональних компонентів на їх характеристики. Дослідження спрямоване на аналіз та вибір кількості та комбінацій функціональних інгредієнтів, для розробки продуктів з покращеними характеристиками. Також встановлено вплив функціональних компонентів на реологічні, фізико-хімічні та органолептичні показники м'ясних виробів. Теоретично-методологічними основами дослідження були положення загальних наукових методів пізнання та конкретні методи оцінки якості готових м'ясних виробів та сировини з якої її виготовляють. Теоретичне узагальнення, групування та порівняння використовувалось для розкриття сутності поняття «функціональні компоненти». На основі порівняння теоретичних знань і практичних дослідів зроблені висновки та пропозиції по удосконаленню виробництва та поліпшенню властивостей м'ясних виробів при використанні функціональних компонентів. Також матеріали статті визначають перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного навчання за дисциплінами спеціальності 181 харчові технології.

**Ключові слова:** інноваційні технології харчування, харчові волокна, клітковина, крохмаль, м'ясний виріб, реологічний показник, визначення моделей прикладів.

### Вступ.

Початковим етапом розробки комплексного інноваційного вибору складових можна визначити ієрархію наукового дослідження: 1) об'єкт дослідження – технології виготовлення м'ясних виробів функціонального призначення; 2) предмет дослідження – дослідження впливу функціональних компонентів на реологічні, фізико-хімічні, мікробіологічні та органолептичні властивості м'ясних виробів; 3) мета підготовки до написання роботи – аналіз, наукове обґрунтування та розробка рецептури м'ясних виробів з додаванням функціональних компонентів. Розвиток ринку м'ясних виробів в Україні є важливим елементом економічного зростання та забезпечення продовольчої безпеки країни. Останні роки він демонструє позитивну динаміку завдяки зростанню внутрішнього попиту, інноваціям у технологіях виробництва та покращенню якості продукції. Зміни в харчових вподобаннях споживачів, зростання купівельної спроможності населення та активний розвиток експортного потенціалу також сприяють підвищенню конкурентоспроможності українських м'ясних виробів на міжнародному ринку. М'ясний ринок ділиться на декілька сегментів: ринок м'яса, ринок м'ясних напівфабрикатів, ринок ковбасних виробів і ринок м'ясних консервів. На ринку м'яса і м'ясопродуктів в Україні діє близько 150 м'ясопереробних підприємств. Вивчаючи функціонування ринку м'яса, можна виділити його інституційну (взаємовідносини між партнерами) та соціальну ефективність (доступність для споживачів). Варто звернути увагу, що соціальна ефективність буває фізичною та економічною. Фізична доступність пояснюється достатньою кількістю пропозиції, а економічна – залежить від рівня ціни на продукти та доходів споживачів [1–5].

Основними операторами ринку є потужності (рис 1): 1 – ТОВ М'ясна фабрика «Фаворит Плюс» (ТМ «М'ясна Лавка», ТМ «Добров», ТМ «Ковбасний ряд»); 2 – ПрАТ Український Бекон (ТМ «Бацинський», ТМ «Європродукт»); ТОВ 3 – «Глобинський м'ясокомбінат» (ТМ «Глобіно»); ТОВ 4 – М'ясокомбінат «Ювілейний» (ТМ «Самобранка», ТМ «Ювілейний», ТМ «Гавро»). 5 – ТОВ Житомирський м'ясокомбінат (ТМ «М'ясна Гільдія», ТМ «Ранчо», ТМ «Gremio de la Carne»); ТОВ «Алан» (ТМ «Алан», ТМ «Спец цех», ТМ «Fitness format».

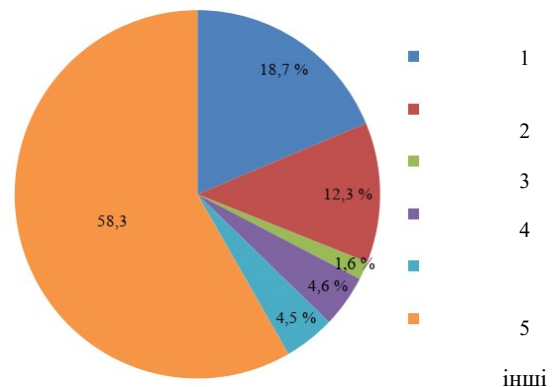


Рис. 1 – Класифікація-ідентифікація операторів ринку

Щоб витримувати конкуренцію, оператори ринку пропонують широкий асортимент продукції, включаючи всі основні категорії ковбасних виробів. За даними аналітичної компанії Pro-Consulting, найбільш популярним сегментом ринку ковбасних виробів є варені ковбаси, які мають перевагу через нижчу ціну порівняно з напівкопченими, копченими та в'яленими виробами. (рис. 2: 1 – варені ковбаси, сосиски, сардельки; 2 – напівкопчені, копчені та в'ялені; 3 – вироби із субпродуктів ).

© Ковальчук В.М., Земелько Л.Л., Бухкало С.І., 2024

Обсяги виробництва ковбасних виробів демонструють сезонні коливання: наприклад, взимку виробництво скорочується, а з весни починається зростання обсягів продукції, що реалізується.

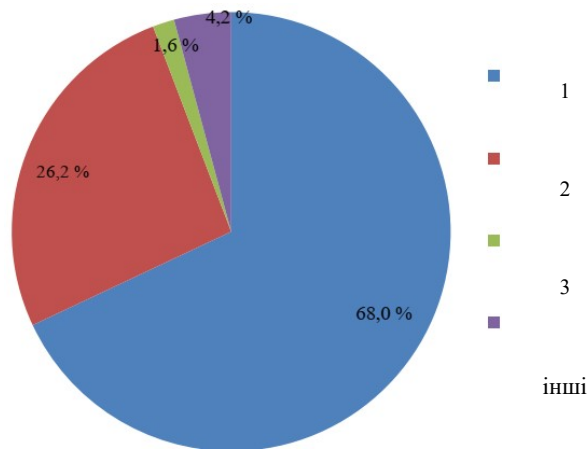


Рис. 2 – Класифікація-ідентифікація структури ринку ковбасних виробів (2023 рік)

Для українського ринку характерно, що імпорт є більшим чим експорт. Так у 2019 році спостерігалось стрімке зростання імпорту, що було пов'язано зі скороченням вітчизняного виробництва і необхідністю задовольнити попит при зменшеній пропозиції. В 2020–2021 році тенденція до зростання обсягів імпорту продовжується, відбувається це за рахунок зростання сегменту варених ковбас та сосисок [9]. На українському ринку частка імпорту ковбасних виробів – незначна, виробництво займає майже весь об'єм ринку (рис. 3.). Традиційно популярними на українському ринку ковбас є імпортні ковбаси з Іспанії, Німеччини та Польщі. Лідерами серед імпортерів є такі мережі супермаркетів як «АТБ-Маркет» та «Метро».

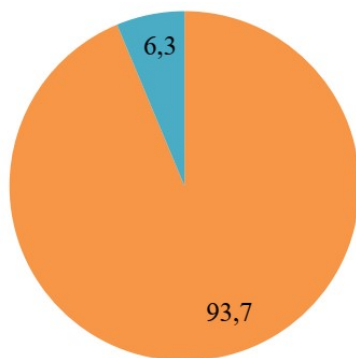


Рис. 3 – Класифікація-ідентифікація структури ковбасних виробів за походженням (Україна та імпорт)

Україна експортує лише невеликий обсяг, близько 0,08%, вироблених ковбасних виробів щорічно, що становить мізерну кількість за рахунок обсягів, які залишаються в країні. Виробництво ковбасних виробів зменшилось у період 2019–2024 рр., проте обсяг експорту значно зріс у 2021–

2024 рр. Основними країнами-покупцями українських ковбас були наступні країни: Грузія, Азербайджан, Молдова та Нігерія [1–5: 10].

Серед ключових експортерів виділяються виробник ТОВ «Алан» та ряд компаній, що спеціалізуються на торгівлі ковбасними виробами, таких як «Доменік», «Прем'єр Фуд» та деякі інші. За останні роки ціни на м'ясні вироби досить сильно змінювались. Для аналізу їх зміни оцінимо вартість (грн) в 2023(1)–2024(2) роках у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Цінова характеристика на м'ясні вироби

Назва продукту	1	2
Ковбаса с/к «Брауншвейгська»	742,39	695,80
Ковбаса в/к «Салямні»	247,64	249,30
Ковбаса варена «Лікарська»	337,15	324,65
Ковбаса варена «Молочна»	117,96	123,90
Ковбаса варена «Любительська»	139,85	143,05

Згідно з вище наведеними даними можна стверджувати, що ціни на ковбаси зросли на досить значну величину, про те для деяких видів ковбас спостерігається динаміка зменшення. Близько 30% ринку м'ясних і ковбасних виробів в Україні перебуває в тіні. Це значення варіюється по регіонах: у західних областях країни воно вищий через більшу кількість дрібних виробників та неофіційний імпорт м'ясних і ковбасних виробів з Європи, зокрема з Польщі [1–5: 6–12]. Значна частка тіньового ринку означає недоотримання податків державою, що зменшує бюджетні надходження та можливості для фінансування суспільно важливих програм. Також продукція тіньового ринку часто не відповідає стандартам якості та безпеки, що може призвести до ризиків для здоров'я споживачів [1–5: 13].

**Методологія розробки функціональних продуктів.**

Ринок м'ясних виробів, як розвинена галузь інноваційної харчової технології функціонує через інфраструктуру, що включає: сільське господарство, первинну обробку, промислову переробку, оптову і роздрібну ланки, та кінцевих споживачів. Механізм м'ясної продукції охоплює всі стадії відтворювального процесу, забезпечуючи рух продукції від вирощування тварин до готової продукції. Розробка функціональних продуктів – важливий процес для сучасних виробників. Методологія розробки досить багатостадійна (табл. 2), у даному дослідженні вона включає послідовність за складовими технологічного процесу:

ПІДГОТОВЧІ → ОСНОВНІ → ЗАКЛЮЧНІ.

До підготовчої стадії входять дослідження та аналіз ринку та потреб споживачів, з метою визначення вимог до функціональних продуктів харчування. Далі здійснюють ретельний аналіз наукових джерел, статей та патентів, що стосуються функціональних харчових продуктів, методів дослідження якості та впливу їх властивостей на здоров'я споживача.



Таблиця 2 – Класифікація-ідентифікація деяких складових дослідження

№	Приклади ієрархії складових дисципліни Інноваційні ресторани технології
1	Загальні відомості про: об'єкти вивчення розвитку ринку м'ясних виробів в Україні та класифікація-ідентифікація загальних положень наукового обґрунтування і вимог до складових навчання.
2	Об'єкти інноваційної діяльності за прикладами з загальної характеристики та особливостей технології підготовки сировини за інноваційними процесами в просуванні комерціалізації послуг різновидів підприємств..
3	Інновації в управлінні харчовими підприємствами: визначення, характеристика, класифікації-ідентифікації теорії і концепції харчування. Визначення прикладів з загальної характеристики та особливостей технології підготовки сировини для страв і виробів з борошна.
4	Сучасні аспекти та розвиток форматів характеристик інноваційних технологій – структура, мета, завдання, класифікація-ідентифікація об'єктів вивчення та ієрархія складових. Приклади з загальної характеристики та особливостей технології підготовки сировини і виробів; виробництво напівфабрикатів для виробів з різновидів сировини відповідно до нормативно-технічної документації галузі.
5	Систематизація методології основних видів харчової продукції: представлення концепції інноваційних підходів до створення інноваційних рецептур – класифікація за різними ознаками.
6	Приклади із загальної характеристики та особливостей технології підготовки сировини, класифікація-ідентифікація складових інноваційних форм та характеристик заходів методології і досвід їх впровадження у вітчизняній та світовій практиці харчових технологій..
7	Класифікація-ідентифікація, характеристика та визначення інноваційних форм надання специфічних професійних методологій розробки загальної технології виробництва функціональних продуктів, наукове обґрунтування класичної теорії харчування.
8	Класифікація-ідентифікація, характеристика та визначення інноваційних форм надання специфічних професійних методологій розробки підготовчих стадій виробництва функціональних продуктів – ієрархія складових та характеристика формування інгредієнтного складу функціональних м'ясних виробів.
9	Класифікація-ідентифікація, характеристика та визначення інноваційних форм надання специфічних професійних методологій розробки основних стадій виробництва функціональних продуктів – ієрархія складових та характеристика операцій виробництва інноваційних функціональних м'ясних виробів.
10	Класифікація-ідентифікація, характеристика та визначення інноваційних форм надання специфічних професійних методологій розробки заключних стадій виробництва функціональних продуктів – ієрархія складових та характеристика формування ієрархії виробництва інноваційних функціональних м'ясних виробів.
11	Класифікація-ідентифікація, характеристика та визначення інноваційних форм надання специфічних професійних методологій розробки контролю якості та розробка нормативно-технічної документації відповідно до стадій виробництва інноваційних функціональних продуктів
12	Класифікація-ідентифікація, характеристика та визначення інноваційних форм надання специфічних професійних методологій розробки підготовчих стадій виробництва функціональних продуктів – ієрархія складових та характеристика формування інгредієнтного складу функціональних м'ясних виробів.

### Постановка проблеми у загальному вигляді та приклади об'єктів дослідження.

Загальні відомості про: об'єкти вивчення розвитку ринку м'ясних виробів в Україні та класифікація-ідентифікація загальних положень наукового обґрунтування дозволяють перейти до наступного пункту ієрархії дослідження. Формування інгредієнтного складу функціональних м'ясних виробів та дослідження впливу функціональних компонентів на характеристики м'ясних виробів – важливий напрямок наукових досліджень у сфері харчової промисловості. Функціональні компоненти включають в себе широкий спектр інгредієнтів, таких як антиоксиданти, консерванти, стабілізатори, а також смакові добавки. Зазвичай увагу приділяють вивченню їх впливу на текстуру, хімічний склад, органолептичні властивості та тривалість зберігання. Зараз у технології виробництва м'ясопродуктів передбачено використання різних додатків, що поліпшують структурно-механічні властивості м'ясних виробів. Так відбувається, адже правильно підібрана текстура робить продукт більш привабливим за естетичної точки зору, важливо для повернення уваги споживача. Також впливає на загальне сприйняття смаку продукту та дає перше розуміння про якість [1–5: 14].

**1. Приклад визначення загальних відомостей** про об'єкти вивчення та предмет дослідження: застосування колагенових білків. Вони виявляють підтверджену здатність до гелеутворення та підвищення в'язкості, тобто властивостей, які роблять їх цінним сировинним матеріалом м'ясної промисловості з метою покращення технологічних властивостей, а саме збереження вологості, стабілізації м'ясної емульсії, утворення гелю [1–5: 15, 16]. Додавання невеликої кількості колагену має позитивний ефект завдяки здатності зв'язувати воду, що призводить до зменшення його гелеутворювальної та водозв'язувальної здатності, що призводить до зменшення термічної усадки та покращення структурних характеристик. Із цією метою дуже активно застосовують гідроколоїди. Це харчові добавки, які містять велику групу речовин, здатних поліпшувати структурно-механічні показники продуктів [1–5: 17].

У ковбасному виробництві, серед багатьох інших харчових додатків, гідроколоїди виділяються завдяки вологоутримувальним, стабілізуючим та загущуючим властивостями, що створюють передумови для одержання продукції зі збільшеною соковитістю та виходом. При взаємодії гідроколоїдів із складовими фаршевою емульсією,

виявляються їхні ліпофільні або гідрофільні властивості, тобто здатність стабілізувати структуру емульсії від руйнування. При цьому існує два механізми їх стабілізації [1–5: 18]: утворення захисної плівки на межі поділу водної і жирової фаз, яка запобігає коалесценції жирових крапель. В результаті не відбувається істотного впливу на поверхневий натяг міжфазових переходів і створюються умови до утворення стабільних емульсій тобто зменшується вірогідність виникнення пористого продукту; взаємодія з білками, присутніми в фаршевій емульсії.

Відомо, що білки біля ізоелектричної або ізотермічної точки виявляють мінімальну розчинність. Тому якщо комплекс білків фаршевої емульсії перебуває в стані ізотонії, відбувається конденсація незв'язаної водної фази з просторовою структурою фаршевої емульсії. А це призводить до розшарування фаршу та погіршення смаку готової продукції. Найвільність в системі фаршевих емульсій поліелектролітних гідроколоїдів, які можуть утворювати з молекулами білкових речовин колоїдні комплекси, що запобігає значній конденсації водної фази в продукті тобто продукт візьме оптимальну кількість вологи.

Гідроколоїди використовуються, в тому випадку, якщо потрібно ефективно зв'язати надлишкову вологу. Проте потрібно врахувати що вище наведена властивість сприятиме погіршенню консистенції. Так, використання камеді гуару можливе при виробництві вареної ковбаси щоб ефективно зв'язати надлишкову вологу. За допомогою чистого карагенану можна збільшити вихід цільном'язових копченостей, але при зберіганні продукту виділяється волога, що є дефектом виробу. Тому одержати продукт з високими споживними властивостями можливо шляхом застосування гідроколоїдів у вигляді сумішей за певного їх відсоткового співвідношення [19]. Основними із них є структуроутворювачі полісахаридної будови (ксантанова камедь, гуарова камедь, камедь ріжкового дерева, гуміарабік тощо), білкові препарати рослинного та тваринного походження [1–5: 20–21].

У виробництві активно використовують білкові препарати, щоб замінити частину м'яса. Їх використання при подальшій термообробці допомагає утворити міцні зв'язки між білками м'ясної сировини і додатковими білками. В результаті, це забезпечує стабільну структуру готового продукту. Вносять такі препарати (виготовленні на основі сполучних тканин) приблизно в кількості (5–30%), саме така кількість підвищить показник вологозв'язуючої здатності та призводить до покращення структурно-механічних властивостей, про що свідчать результати досліджень [1–5: 22].

Активно використовують молочний білок. Особливістю, за яку почали використовувати його в м'ясопереробці є можливість зменшувати утворення бульйонно-жирових набряків у готовому продукті [1–5: 10, 11]. Поряд з молочними білками важливу роль у формуванні фаршевих систем відіграють соєві білкові

препарати. Використання соєвого ізоляту в кількості 3–10 % збільшує показник пенетрації і знижує граничне напруження зсуву. Тому використання соєвого ізоляту у технології ковбас із низькосортного м'яса дозволяє знизити жорсткість і підвищити соковитість ковбас [1–5: 23].

Ще цікавим, є застосування капа-карагенану, що виготовляють з червоних морських водоростей. При його використанні, частково знизиться кількість вільної зв'язаної вологи (близько 2 %) та покращяться реологічні властивості, зокрема граничне напруження зсуву (на 24 %). Проте, певні дослідження показали що якщо застосувати поєднання карагенану із гуаровою камеддю, то це збільшить показник вологозв'язувальної здатності та граничного напруження зсуву на 3 % та 20 % відповідно. Тому можна стверджувати що комплекси з карагенанами можна використовувати як гелеутворювачі [1–5: 24].

Можна спостерігати, що індивідуальне використання харчових добавок ускладнює процес виготовлення. Як підтвердження, є дослідження [1–5: 25], яке доводить переваги використання комплексів добавок у вигляді готової суміші. Саме дослідження свідчить, що забезпечення необхідних функціонально-технологічних, структурно-механічних та органолептичних властивостей готових виробів досягається використання сумішей гідроколоїдів (камедей гуарової, ксантанової, ріжкового дерева, конжак) в певному співвідношенні. А саме, зростає показник адгезійно-когезійної роботи (зростає міцність та утримання) на 27–68 % та знижує граничне напруження зсуву приблизно на 9%, забезпечує загущення і стабілізацію структури, внаслідок чого фаршеві системи ефективно утримують вологу. Так наприклад суміш капа- та йота-карагенану (2:1) в кількості до 0,8 г на 100 г та молочних білків в кількості до 0,2 г на 100 г у вигляді емульсії до складу сосисок дозволяє зменшити втрати при термообробці та покращує стійкість емульсії.

Хімізм процесу полягає, що карагенани взаємодіють із полярними групами білка і інтегрують їх в свої гелеві системи, тим самим покращують функціонально-технологічні властивості м'ясних фаршів. Оптимізація наведених показників свідчить, що додавання 0,35 г/100 г білків молока, 0,593 г/100 г суміші капа- та йота-карагенану та 5 г жиру забезпечує найвищі значення властивостей м'ясних фаршевих систем [1–5: 26]. Поєднання капа- і лямбда-карагенанів знижує втрати при варінні і покращує вологоутримуючу і емульгуючу здатність м'ясних систем та покращує структурно-механічні властивості готового продукту.

Загалом всі наукові роботи, що досліджують вплив певних структурних компонентів (білків, гідроколоїдів, солей органічних і неорганічних кислот та ін.) показують, що їх застосування в індивідуальному вигляді, або у вигляді комбінації навіть при незначних концентраціях істотно модифікує функціональні властивості цих систем, що значно впливає на якість готових виробів [1–5: 18, 22–25, 30].

Позитивним в цьому моменті, є значна можливість з одного боку, знизити вартість продукції, а з іншого – покращити хіміко-технологічні, реологічні та органолептичні показники.

## **2. Приклади з визначення інноваційних можливостей виготовлення м'ясних виробів**

Аналіз сучасного світового ринку свідчить що досить сильно почав розширюватись асортимент нетрадиційних продуктів харчування. Так виникають різноманітні продукти покращені вітаміновмісними речовинами. Яскравий приклад – створення вітамінізованих купажів рослинних олій та білково-жирових емульсій на їх основі [31].

Для м'ясної промисловості це актуально, адже часто потрібно частково замінити тваринні жири. Так наприклад, наведено можливість введення білковожирової емульсії (БЖЕ) у рецептури м'ясних паштетів. Як стверджує автор, це дозволить скоригувати раціон незамінними нутрієнтами, та допоможе досягти необхідного співвідношення жирних кислот, вітамінів,  $\beta$ -каротину та токоферолу і розширити асортимент м'ясних виробів [32].

Одним із перспективних напрямків заміни м'ясного білка на додаткову сировину, яку вводять у рецептуру для поліпшення харчових властивостей є використання грибною сировини. І дійсно така сировина дуже багата на білок, і набагато легша у видобуванні. Тому часткова заміна тваринного білка допоможе зробити готові вироби більш біологічно цінними та доступними. Наприклад, автор пропонує використання такого гриба як глива звичайна – джерело повноцінних білків, вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон. Гриби володіють лікувально-профілактичними, протипухлинними, радіопротекторними, деякими антивірусними та гіпоглікемічними, імуномодельючими властивостями [33]. Якщо враховувати вище згадані властивості, то можна припустити, що добавка з грибною сировини, буде сприяти покращенню зберігання готового продукту, а це завжди актуальне питання будь якого харчового виробництва.

Як варіант інновації, можна використати заміну традиційних компонентів більш поживно цінними. Тому можна замінити пшеничне борошно, яке допускається в ковбасних виробках, на більш поживно цінні злакові. Як приклад, є покращення рецептури варених ковбасних виробів, із частковою заміною м'ясного компонента борошном дикорослої пшениці – спельти, заміна соняшникової олії на оливкову та введення у фарш смакової добавки ферментованих печериць [34]. Мета такої розробки – часткова заміна тваринного білка та збагачення фаршу омега-3 жирною кислотою та усунення передозування в ньому вітаміну Е. У цьому дослідженні у рецептуру окрім звичайного борошна спельти, ще входило 5÷8% борошна спельти гідратованої та вносилося у фарш у співвідношенні 1:1, та було зменшено кількість курячого м'яса на 3÷6 %. Це дозволило покращити органолептичні показники готового продукту та підвищити пружність фаршу.

Покращення рецептури ковбасного виробу з використанням спельти та оливкової олії привела до покращення наступних показників: зовнішнього вигляду, консистенції, виду на розрізі, запаху та смаку. Мікробіологічні дослідження показали, що продукт, характеризувався суттєвою уповільненою динамікою наростання мезофільних, аеробних та умовно анаеробних мікроорганізмів за відсутності патогенних мікроорганізмів та бактерій групи кишкової палички.

У роботі Тищенко Л.М. проведено дослідження з розробки та удосконалення нових технологій виробництва м'ясо-рослинних напівфабрикатів з м'яса птиці з використанням рослинної сировини на прикладі овочів. Так автор запропонував три рецептури м'ясо-рослинних напівфабрикатів з вмістом: броколі – 28%, шпинату – 28%, гарбуза – 23%, які збагачують продукт незамінними речовинами [35]. Результат дослідження показує, що використання даної рослинної сировини має позитивний вплив на властивості фаршу та готових продуктів. Зразки мають високі органолептичні показники, та за хімічним складом відповідають вимогам «ДСТУ 4437:2005. Напівфабрикати м'ясні та м'ясо-рослинні посічені. Технічні умови» [36].

## **3. Приклади з визначення інноваційних можливостей виготовлення м'ясних виробів «Корисна їжа»**

Корисна їжа підтримує у тонусі організм і покращує фізичний стан. Зазвичай м'ясні вироби такі як ковбаси, не вписують в цю категорію. Проте, якщо відійти від їх традиційного виготовлення та покращити рецептуру, то вони матимуть високі споживчі властивості. Так, наприклад, можна їх покращити клітковиною, як це запропонували Сухенко, Ю., Корець, Л., Дудченко у своїх наукових роботах, було запропоновано покращити ковбасні фарші пшеничною клітковиною з пектином гарбуза.

Аналіз такого м'ясного виробу показав, що пшенична клітковина з пектином гарбуза за розмірами частинок і особливостями його будови не відрізняється від аналогічних структурних елементів ковбасних фаршів. Звідси можна стверджувати, що білки пшениці і пектину гарбуза споріднені з тваринними білками.

Також, було встановлено, що рівень заміни м'ясної сировини (свинини напівжирної) в кількості 3%, 5%, 7% пшеничною клітковиною, збагаченою пектином гарбуза, не впливає негативно на основні показники готових виробів. Така заміна не тільки сприяла покращенню основних властивостей, а й виявилася дуже вигідною адже, дала можливість отримати розрахунковий економічний ефект 1310,20 грн на 1 т готової продукції і збільшити рентабельність підприємства на 8,1 % (за цінами 2018 р.) [37].

Для виробництва ковбаси використовують не лише звичні види м'яса (свинина, яловичина та курятина), а й м'ясо інших тварин. Але часто така ковбаса має чимало недоліків, і тому потрібно її

вдосконалювати. Так у [38] наведено ковбасу із м'яса качки, яку покращено екстрактом журавлини. Недоліком прототипу, було те що в рецептурі спостерігається досить великий вміст ліпідів за рахунок того, що використовують качине м'ясо, яке має досить високий вміст жиру. Головна мета такої розробки полягала в тому, щоб запобігти швидкому псуванню виробу під час зберігання. Тому було запропоновано використати екстракт журавлини, адже саме цей компонент має, має цілий ряд речовин з антиокислювальними властивостями. Додавання такого екстракту до фаршу м'ясовмісної вареної ковбаси сприяло гальмуванню перекисних процесів у готовому виробі під час зберігання і дотриманню високих показників якості продукту [39-41].

Однією із проблем ковбасних виробів це є значний вміст жиру в готовому продукті. Зменшення можна досягти двома способами за рахунок використання в рецептурі малої кількості жирної сировини, або завдяки додавання гідратованих інгредієнтів [41-44]. Так в рецептуру можна ввести харчові волокна. Відомо, що їх використання в значній кількості сприяє абсорбції холестерину та жовчних кислот, попереджують утворення каменів, нормалізують ліпідно-вуглеводний обмін та допомагають підтримувати відчуття ситості довгий час [32].

З технічної частини введення клітковини в рецептуру реструктурованих м'ясопродуктів та емульгованих ковбасних виробів відбувається за рахунок здатності харчових волокон підвищувати вологозв'язувальну, вологоутримувальну та жиротримувальну здатність фаршів, без негативного впливу на органолептичні показники. Вони сприяють поліпшенню консистенції продуктів та зменшенню собівартості [33-34]. Проте незважаючи на ряд переваг клітковини у складі м'ясних виробів, заміщення жиру шляхом додавання клітковини – складне завдання, адже важко зберегти гарні смакові якості та тривалий термін зберігання.

Жир – основний компонент м'ясного продукту, оскільки він змінює сприйняття аромату, впливаючи на виділення, інтенсивність, міграцію та розподіл сполук, що обумовлюють цю властивість. Часткове заміщення тваринного жиру з використанням гідратованої клітковини у рецептурі варених ковбас призводить до виділення бульйону при термообробці і погіршення реологічних характеристик, а використання жирозамінників часто спричиняє зменшення розміру частинок емульсії, потемніння продукту, втрату смаку та зменшення терміну придатності [35]. Целюлоза може бути використана для виробництва різних видів ковбасних виробів, проте найбільш популярним є варена ковбаса. Целюлоза додається до варених ковбас для покращення текстури і зменшення витрат на м'ясну сировину.

Використання пшеничної целюлози дозволяє зв'язувати воду і жир, що поліпшує якість та

ефективність виробництва. Це дозволяє підвищити вихід продукції, зменшити витрати та покращити консистенцію кінцевого продукту [36]

#### **4. Приклади з визначення інноваційних можливостей застосування різновидів клітковини для м'ясних виробів.**

В статті Банцадзе Б.Г було сказано про використання картопляної клітковини під час виробництва емульсійних ковбас, шинок та паштетів. Застосування цієї добавки дає позитивний ефект – збільшення виходу продукту та зменшення виділення води при вакуумуванні. Також така добавка сприяє рівномірному розподілу жиру в продукті, що дозволяє отримати стійку емульсію. Автор зазначив, що в оптимальній концентрації 1,5...7,0мас/% отриманий готовий продукт має високі органолептичні показники і підвищену харчову цінність.

Бамбукова клітковина – багатфункціональна добавка, що замінює висококалорійні наповнювачі і знижує енергетичну цінність продукту. Волокна термостабільні, з високою волого- і жирозв'язуючою здатністю, підсилюють дію емульгаторів, значно поліпшують структуру й консистенцію готового виробу, стабілізують смак і аромат. У роботі Ришканича Р.О у модельних фаршевих системах було використано бамбукову клітковину розміром 200 і 400 мкм, що дозволило підвищити соковитість продукту, зменшити втрати при термообробці, внаслідок більш повного зв'язування вологи і жиру. Дослідження підтвердило максимальну ефективність використання бамбукової клітковини, величиною 200 мкм, у поєднанні з вівсяними пластівцями та ступенем гідратації [37]. Автор розробив рецептуру посічених напівфабрикатів з використанням бамбукової клітковини і вівсяних пластівців в кількості до 35% щоб повністю виключити пшеничний хліб з рецептури. Встановлено, що зі збільшенням кількості наповнювачів, вологозв'язуюча здатність модельних систем зростає, оскільки обрані компоненти володіють високою поглинаючою та утримуючою здатністю, зумовленою наявністю гідрофільних груп полімерів і механічним утриманням системою капілярів і пор. Ще однією актуальною проблемою є значний вміст залишкового нітриту. Нітрит натрію – сіль азотної кислоти. Всі виробники активно використовують цю речовину. В ковбасу нітрит натрію потрапляє, не у чистому вигляді, а у вигляді готових посолочних розчинів. Застосовують E250 з причини, що це гарний консервант та антиокисник, що пригнічує розвиток анаеробних бактерій, які викликають ботулізм.

Антиокислювальні властивості нітриту проявляються у вигляді того, що ця речовина фіксує колір ковбаси. Без його застосування продукція буде мати сірий неапетитний вигляд. Інтенсивність забарвлення залежить від ступеня розщеплення нітриту натрію та кількості оксиду азоту. Відомо, що нітрит натрію – отрута. Якщо значно збільшити

концентрацію, то у організмі викликає порушення роботи нирок та центральної нервової системи.

Доведено, що близько 20% нітриту залишається в готовому продукті. Щоб зменшити його залишок в ковбасних виробках пропонують застосувати певну групу бактерій. Так у праці [38] описується застосування нітритредуючої мікрофлори *Staphylococcus xylosus* на кількість залишкового нітриту натрію із збереженням головних показників. Результати цього дослідження показали, що за допомогою використання денітрифікуючих мікроорганізмів на етапі соління варено-копчених ковбас можна отримати готові вироби з малою кількістю залишкового нітриту. З іншого боку, зниження частки нітриту натрію, може спричинити брак виробів. Використання штаму *Staphylococcus xylosus* при зменшенні масової частки нітриту натрію на 30% дало змогу знизити його залишкову кількість від 0,005 % до 0,0008 % [38].

Здійснивши аналітичний огляд літератури з даної тематики, а саме з покращення м'ясної сировини функціональними компонентами було виявлено головні проблеми, що постають перед

виробниками – збільшення терміну зберігання, покращення структурно-механічних та органолептичних показників, і зменшення небажаних компонентів у складі готового продукту. Тому подальші дослідження будуть спрямовані саме на визначення функціональних та структурно-механічних властивостей готових виробів.

### 5. Приклади з визначення технологічних можливостей для м'ясних виробів (рис. 4, табл. 3).

До м'ясної сировини відносять яловичину, свинину та м'ясо поросят, баранину, козлятину, конину, верблюдяче м'ясо та ін. За угодованістю м'ясо поділяють на першу та другу категорії, а також за сортами залежно від частини туши тварини. Розрізняють м'ясо гаряче – з температурою 37 °С; остигле – 12–14 °С; охолоджене – 0–4 °С; морожене – 6 °С та розморожене (дефростоване). М'ясо у середньому містить, %: білки 9,5–25; жир 12–15; вуглеводи – до 10; мінеральні речовини – 1,5; вода 67 – 82. М'ясо як сукупність різних тканин: м'язової, сполучної, жирової, кісткової та ін. Кожен вид тканини складається з клітин і неклітинних утворень, що виконують певні фізіологічні функції.

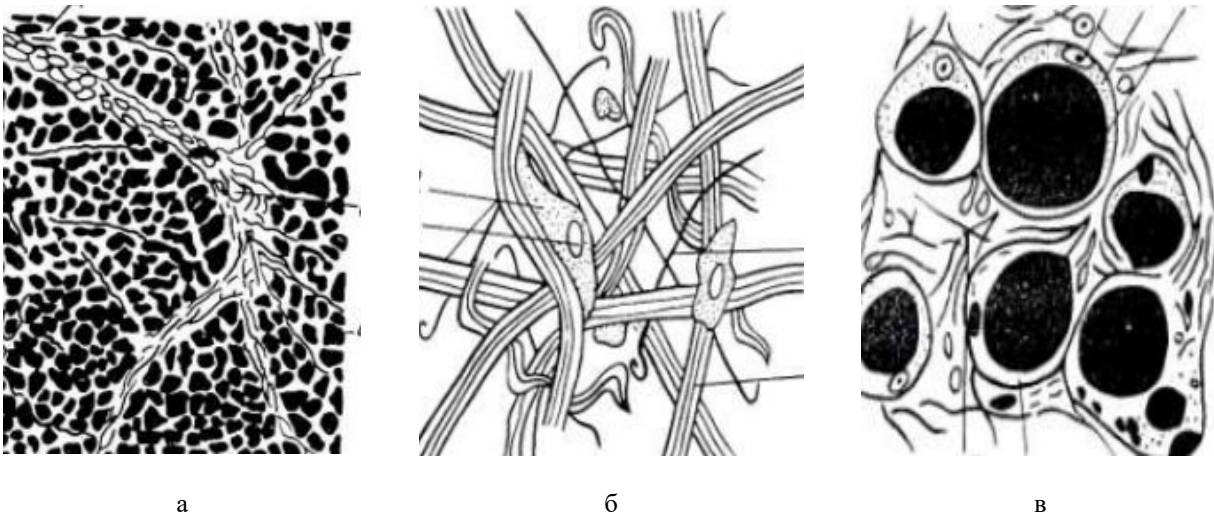


Рис. 4 – Приклади різновидів тканин м'яса за даними дослідників

Таблиця 3 – Ієрархія визначення складових інноваційного дослідження.

№	Класифікація-ідентифікація та ієрархія етапів дослідження за темою
1	Аналіз системи предметної області об'єкту: наукове обґрунтування, ієрархії та класифікації-ідентифікації різновидів дослідження: 1) огляд літератури та вибір напрямів дослідження; 2) визначення класифікації-ідентифікації та хімічного складу сировини, напівфабрикатів та продукції; фізико-хімічні властивості та методи виробництва.
2	Класифікація-ідентифікація сутностей та зв'язків процесів системи: 1) загальна характеристика та складові як технологія дослідження за обраними напрямками; 2) визначення методики експерименту.
3	Визначення ієрархії складових процесів як можливостей подальшої комбінації 1) актуальність використання відходів галузі в технології з метою інтенсифікації виробництва за рахунок процесів ресурсо- та енергозбереження.
4	Вибір та розробка науково-обґрунтованих технологій та методів з ефективного вирішення проблеми, наприклад, обґрунтування необхідності застосування роздрібними мережами асортиментних матриць як методичного прийому щодо управління асортиментом продовольчих товарів.
5	Дослідження особливостей процесів для різновидів об'єктів – методичний підхід до побудови асортиментної матриці на основі діаграми ступеня впливу харчових продуктів на властивості та якість продукції.
6	Розробка математичної моделі з метою вивчення процесів та їх впливу на об'єкти, встановлення сукупності параметрів для оцінки ефективності управління асортиментом продовольчих товарів із погляду цінового критерію асортиментної матриці.

Структурними елементами клітини є оболонка, велике ядро і цитоплазма (рис. 4: а – м'язова тканина, 1 – жирові прошарки, 2 – сполучно-ткані прошарки, 3 – кровоносні судини, 4 – м'язові волокна; б – будова сполучної щільної тканини, 1 – ядро, 2 – клітина, 3 – еластичні волокна, 4 – колагенові волокна; в – будова жирової тканини, 1 – ядро, 2 – клітина, 3 – капля, 4 – протоплазма, 5 – волоконця міжклітинної речовини). М'язова тканина – основна тканина, яка визначає харчову цінність м'яса, складається з витягнутих до 15 см в довжину багатоядерних клітин – волокон; товщина волокна становить 10–100 мкм. Між ними знаходяться тонкі прошарки міжклітинної речовини у вигляді пухкої сполучної тканини.

М'язова тканина пронизана кровоносними, лімфатичними судинами і нервами, які проходять по сполучно - тканинних прошаркам, об'єднуючим м'язове волокно. Залежно від будови і характеру скорочення м'язових волокон м'язова тканина буває трьох видів: поперечно-смугаста, гладенька і серцева. Поперечно-смугаста м'язова тканина складає скелетні м'язи, скорочується довільно, має червоний колір; гладкі м'язи мають травні, дихальні органи і діафрагму – вони скорочуються ритмічно, їх тканина майже безбарвна. Серцева м'язова тканина складається з паралельно розташованих волокон, що з'єднуються за допомогою чисельних відростків.

Вологозв'язуюча здатність м'яса визначає його властивості на різних стадіях технологічної обробки і впливає на водоутримуючу здатність готових м'ясопродуктів, їх якість і вихід. Оскільки переважаючими компонентами м'яса є м'язова і сполучна тканини, їх вологозв'язуюча здатність має найбільше значення. Вологозв'язуюча здатність м'яса залежить, в основному, від стану білків; жири лише в незначній мірі утримують вологу. Основна частина води міститься в волокнах м'язової тканини, причому в міофібрилах її більше, в саркоплазмі менше, тому вологозв'язуюча здатність м'язової тканини, в першу чергу, визначається властивостями і станом білків міофібрил (актину, міозину і актоміозину). У сполучній тканині води менше, вона пов'язана, головним чином, з колагеном. Форма і міцність зв'язку води (вологи) з м'ясом різні. Існує адсорбційна, осмотична і капілярна волога:

1) Адсорбційна волога утворює найбільш міцний зв'язок частини води, яка утримується за рахунок сил адсорбції, головним чином, білками – вологозв'язуюча здатність білків тим вища, чим більше інтервал між рН середовища і ізоелектричною точкою;

2) Осмотична волога (її кількість впливає на пружність тканин) утримується в незруйнованих клітинах за рахунок різниці осмотичного тиску по обидва боки клітинних оболонок (напівпроникних мембран) і внутрішньоклітинних мембран – у міжклітинних просторах, як і в тканинах з неклітковою структурою, роль напівпроникною перегородки виконує каркас білкових гелів, в осередках якого утримується вода. Крім того, більш

високий градієнт осмотичного тиску і збільшення кількості осмотично зв'язаної води, виникають в результаті концентрування іонів електролітів поблизу полярних груп білка. Осмотична волога утримується в м'ясі тим більше, чим менше руйнування напівпроникних мембран або структурних утворень, що виконують їх роль, вона частково виходить з м'яса при зануренні його в розчин з більш високим осмотичним тиском (посол) і при тепловій денатурації білків.

3) Капілярна волога заповнює пори і капіляри м'яса і фаршу, а її кількість залежить від ступеня капілярності матеріалу. У м'ясі роль капілярів виконують кровоносні і лімфатичні судини. Капілярна волога впливає на обсяг і соковитість продукту: чим вище капілярний тиск, тим міцніше капілярна волога пов'язана з матеріалом. Капілярний тиск, в свою чергу, визначається розміром капілярів: чим менше діаметр капіляра (мікрокапіляра), тим тиск вище і тим міцніше утримується вода.

Жирова тканина – це друга після м'язової тканини, що визначає якість м'яса, вона складається з клітин, заповнених жиром у вигляді краплі і відокремлених один від одного прошарками пухкої сполучної тканини. Жирові клітини пронизані кровоносними судинами. За місцем відкладення розрізняють жир підшкірний і внутрішній. Підшкірний жир свиней називають шпиком, внутрішній жир знаходиться в черевній порожнині (сальник), в привертливій області та в області кишківника. Сполучні тканини поділяються на такі групи: м'які – пухка, щільна, жирова, ретикулярна; тверді – хрящова і кісткова; рідкі - кров і плазма. Зі сполучної тканини побудовані м'язи, які прикріплені до кісток і знаходяться в сухожиллях. Ця тканина складова частина зв'язок, окістя, надхрящниці. Цінність сполучної тканини невисока; вона додає м'ясу жорсткість, але входить до її складу колаген утворює при варінні желе.

До складу сполучної тканини входять клітини, клітинний речовина, волокнисті структури, рідкий тканинний сік. Основу сполучної тканини складають колагенові, еластичні і ретикулярні волокна. Колагенові волокна мають значну міцність і переважають в сполучній тканині. Еластичні волокна мають меншу міцність, ніж колагенові. Ретикулярна тканина знаходиться в лімфатичних вузлах, селезінці, червоному кістковому мозку; пухка – в шкірі, підшкірній клітковині; щільна – в сухожиллях. Залежно від співвідношення колагенових і еластичних волокон і їх розташування розрізняють такі різновиди сполучної тканини: пухку, щільну, еластичну і сітчасту. У пухкої сполучної тканини переважають колагенові волокна, пов'язані між собою неміцно і безладно. Пухка тканина знаходиться між м'язами, в шкірі і в підшкірній клітковині, входить до складу всіх органів. Колаген значно відрізняється від інших протеїнів. На його частку припадає 25–30% всіх білків організму [2–7, 9]. Він має специфічний

амінокислотний склад, в якому відсутній повний набір незамінних амінокислот, превалує гліцин (до 30%) і пролін. При переробці колагенотримуючих побічних продуктів на харчові та кормові потреби особливе значення має щільна сполучна тканина.

Щільна сполучна тканина має сильно розвинені колагенові волокна, розташовані паралельними пучками, що забезпечує їй високу міцність. Вона стійка до теплової і механічної обробки, входить до складу сухожилків, зв'язок, оболонки м'язів, кісток, хрящів. Еластична тканина відрізняється великою кількістю еластичних волокон. У чистому вигляді ця тканина знаходиться в потилично-шийній зв'язці. Сітчаста тканина знаходиться в кістковому мозку, селезінці, лімфатичних вузлах. Сполучна тканина, пов'язана з м'язовою тканиною, збільшує її жорсткість, зменшує харчову цінність м'яса. У м'ясній туші 9–13% сполучних тканин.

#### 6. Приклади з визначення інноваційних можливостей застосування різновидів клітковини для м'ясних виробів.

Виробництво м'ясних та ковбасних виробів можна подати у вигляді схеми (рис. 5). Фаршем називають суміш відповідним чином приготовлених складових частин, узятих у кількостях, передбачених рецептурою для даного виду і сорту ковбасних виробів. У залежності від виду (сорту) виробу він може бути мікроскопічно однорідним або містити більш – менш великі шматочки не зруйнованої жирової тканини. Роль сполучної ланки в обох випадках виконує м'ясна частина фаршу.

З погляду зміни структури м'ясної частини фаршу сутність виготовлення ковбасних виробів може бути виражена схемою:

КЛІТИННА СТРУКТУРА (СИРОВИНА) → ГРУЗЛА ПЛАСТИЧНА СТРУКТУРА (СИРИЙ ФАРШ) → ПРУЖНА ЕЛАСТИЧНО-ПЛАСТИЧНА СТРУКТУРА (ПРОДУКТ).

Готування фаршу з желованого м'яса (звільненого від пліви, сухожилів, хрящів, судин і т.ін.) включає процеси здрибнювання (руйнування клітинної структури) і змішування складових частин фаршу, дозованих відповідно до рецептури. В залежності від виду ковбасних виробів ступінь подрібнювання варіюється від шматків розміром 4–25 мм до практично цілком гомогенізованої сировини. М'ясо подрібнюють на подрібнювачах різної конструкції і принципу дії. Продуктивність їх коливається в широких межах від 1–3 т/год до 6,5 т/год, а іноді до 11–15 т/год.

Шпик, жирну і напівжирну свинину, яловичий і баранячий жири, що вводяться у фарш у шматочках, подрібнюють на шпикорізці або вовчку.

Далі приступають до складання фаршу. Рецептурою встановлюється точне кількісне співвідношення складових частин фаршу, його властивості і стан. Отже, рецептура з урахуванням кількості води визначає якість і вихід готової

продукції. Вид, найменування і сорт ковбас знаходяться у прямій залежності від рецептури.

У кожній рецептурі є три категорії складових частин: сировина, спеції, сіль і селітра (нітрити). До сировини відносять ті складові частини фаршу, що містять поживні речовини: м'ясо, жир, субпродукти, молочні і рослинні продукти, крохмаль і т.ін.

Складові частини фаршу повинні бути рівномірно розподілені у всьому об'ємі і добре зв'язані один з одним. Консистенція сирого фаршу повинна мати високі в'язкопластичні властивості. І те, й інше досягається досить тривалим і ретельним вимішуванням складових частин фаршу.

У ковбасному виробництві користуються мішалками різних типів. Механізм, що змішує у фаршемішалках, утворюють лопаті різної форми, які насаджені на двох валах, що обертаються назустріч один одному з різною швидкістю.

При вимішуванні в мішалку спочатку завантажують яловичину і нежирну свинину і пускають у хід лопаті мішалки. Потім, якщо потрібно, додають холодну воду. Через 6–8 хв перемішування вводять спеції і нітрит, якщо він не був доданий раніше. Після цього завантажують жирну свинину, а за 2–3 хв до закінчення перемішування – шпик. Під час перемішування його шматочки не повинні деформуватися, вони повинні рівномірно розподілятися в об'ємі маси. Готовність фаршу визначають за часом перемішування і станом фаршу. Фарш повинен бути однорідним і досить клейким, прилипати до поверхні лопаті. Тривалість перемішування залежить від властивостей фаршу, коефіцієнта завантаження і складає: для фаршу варених ковбас – 20 хв, напівкопчених – 12 хв, копчених – 10 хв. [5–19].



Рис. 5 – Функціональна схема виробництва ковбас

Виготовлення структурованого м'ясного виробу відбувається комплексно та включає в себе багато етапів. Для їх кращого розуміння, процес виготовлення структурованого емульсійного продукту буде розглянуто у наступних публікаціях на прикладі виробництва вареної ковбаси «Любительська». Необхідно підкреслити, що вологозв'язуюча здатність м'яса визначає його властивості на різних стадіях технологічної обробки і

#### **Висновки та перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного навчання за дисципліною.**

У даній науковій роботі було досліджено якісні властивості сировини та м'ясних виробів, а саме органолептичні показники, вміст вологи, білку, жиру, крохмалю та лактози, нітриту натрію, кухонної солі, титрованої кислотності, вологоутримувальної та желюючої здатності, вимірювання рівня рН, електропровідності, якості подрібнення та текстури. Обґрунтовано можливість використання обраних видів функціональних компонентів для введення як додаткового компонента у варених ковбасах структурного типу. В роботі розроблено заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

В організаційно-економічній частині дослідницької роботи розраховано основні техніко-економічні показники. Для успішного розв'язку поставлених завдань необхідне навчально-методичне забезпечення [20–31] всіх запланованих заходів – питання до аналізу самостійних робіт, співпраця зі студентами інших ВНЗ при виконанні основних цілей комплексного проекту та ін.

Дослідження спрямоване на встановлення оптимального дозування для рецептурних комбінацій функціональних інгредієнтів. Допомогти виробникам скоротити час на пошуки ідей для розробки нових продуктів з покращеними характеристиками, а саме досягнення оптимальної пружної структури готових м'ясних виробів. У даній науковій роботі було досліджено якісні властивості сировини та м'ясних виробів, а саме органолептичні показники, вміст вологи, білку, жиру, крохмалю та лактози, нітриту натрію, кухонної солі, титрованої кислотності, вологоутримувальної та желюючої здатності, вимірювання рівня рН, електропровідності, якості подрібнення та текстури.

Велике значення у вирішенні цієї проблеми відводиться підготовці відповідної науково-технічної літератури, що пояснює схему та логіку прийняття технологічних рішень та має у своєму складі приклади, розрахунки, алгоритми дії та необхідні довідкові дані [31–39].

#### **Список літератури**

1. Ковальчук, В. М., Земелько, М. Л., Бухкало, С. І. Дослідження впливу функціональних компонентів на властивості м'ясних виробів. Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2024:

впливає на водоутримуючу здатність готових м'ясопродуктів, їх якість і вихід. Оскільки переважаючими компонентами м'яса є м'язова і сполучна тканини, їх вологозв'язуюча здатність має найбільше значення [6, 1–4, 19–22]. Порівняльна характеристика підходів щодо управління асортиментом товарів у роздрібній торгівлі дозволяє зробити висновок, що загалом вони не мають істотних протиріч.

- Матеріали III Міжнародної наукової конференції. 20 травня 2024 р., м. Дніпро.–Дніпро:“Середняк ТК”, 2024.–216 с., 121–123.
2. Ковальчук В.М. Земелько М.Л., Бухкало С.І. Алгоритми впливу функціональних компонентів на основні властивості деяких різновидів м'ясних виробів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 582.
3. Земелько М.Л. Бухкало С.І. Ковальчук В.М. Визначення властивостей деяких різновидів м'ясних виробів з функціональними компонентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 587.
4. Ковальчук В. (2024). Дипломна робота: дослідження впливу функціональних компонентів на властивості м'ясних виробів. **Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет.** Дніпро
5. Орлова Є.І., Лещенко В.О., Бухкало С.І. Приклади та задачі до курсу «Загальна технологія харчових виробництв» (навч.-мет. посібник), Харків: НТУ «ХПІ», 2001. 140 с.
6. Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 184 с
7. Бухкало С.І., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л. Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 460 с.
8. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О., Орлова Є.І. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах [текст] підр. К.: ЦНЛ, 2005. 496 с
9. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О., Орлова Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах [текст] підручник К.: ЦНЛ, 2008. 600 с.
10. Бухкало С.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А. Технологічне обладнання харчової галузі (н. пос.). Х.: УПА-2009, 185 с.
11. Бухкало С.І., Лазарев М.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А., Рубан Н.П., Новосельцев О.О. Процеси та апарати харчових виробництв (навч. пос.). Х.: УПА-2009, 153 с.



12. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ЗИПУННИКОВ М.М., ОЛЬХОВСЬКА О.І. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
13. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах [текст] підр. К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
14. БУХКАЛО С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.
15. БУХКАЛО С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
16. БУХКАЛО С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) / ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ДЕНИСОВА А.Є., ДЕМИДОВ І.М., КАПУСТЕНКО П.О., АРСЕНЬЄВА О.П., БІЛОУС О.В., ОЛЬХОВСЬКА О.І. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2016, 468 с.
17. БУХКАЛО С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклад та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
18. БУХКАЛО С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклад та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
19. БУХКАЛО С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклад та тести з технології переробки плодоовочевої сировини). 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підр. з грифом. К.: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
20. БУХКАЛО С.І., ІГЛІН С.П., ОЛЬХОВСЬКА О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 208 с.
21. БУХКАЛО С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-пр. конф. конференції (MicroCAD-2019), 15-17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
22. ОЛЬХОВСЬКА В.О., КРАВЧЕНКО О.С., БУХКАЛО С.І. Складові алгоритми пошуку раціональних закономірностей роботи обладнання. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28-30 жовтня Ч. II./за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХПІ», с. 249.
23. BUKHKALO S.I., AGEICHEVA A.O., IGLIN S.P., HLAVCHEVA YU. N., MIROSHNICHENKO N.N., OLKHOVSKA O.I., ZIPUNNIKOV M.M., OLKHOVSKA V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
24. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
25. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019. 186442. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442>.
26. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
27. БУХКАЛО С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: 2014. № 16. С. 3–11.
28. БУХКАЛО С.І., ОЛЬХОВСЬКА О.І., ОЛЬХОВСЬКА В.О., ЗИПУННИКОВ М.М. Дослідження та аналіз інноваційних заходів з технології комплексної утилізації післяспиртової барди. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 66–74. doi: 10.20998/22204784.2019.15.12
29. БУХКАЛО С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 84–93. doi: 10.20998/22204784.2019.21.13
30. БУХКАЛО С.І. Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 7 (1116), с. 103–108.
31. БУХКАЛО С.І. Комплексні інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
32. БУХКАЛО С.І., ІГЛІН С.П., КРАВЧЕНКО В.О., КОПЕЙЧЕНКО Є.А., НАЗАРЕНКО М.В. Приклади та задачі комплексного викладання дисципліни харчова хімія. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 89–96.
33. БУХКАЛО С.І. Комплексні системи викладання дисципліни основи проектування обладнання хімічних виробництв як співпраця асоціацій EFCE та CFE-UA. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 13–22.
34. БУХКАЛО С.І., ЗЕМЕЛЬКО М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
35. БУХКАЛО С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-пр. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
36. БУХКАЛО С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ». 2014, № 16, с. 3–11.
37. BUKHKALO S.I., AGEICHEVA A.O., IGLIN S.P., HLAVCHEVA YU. N., MIROSHNICHENKO N.N., OLKHOVSKA O.I., ZIPUNNIKOV M.M., OLKHOVSKA V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks / Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14

## References (transliterated)

1. Koval'chuk, V. M., Zemel'ko, M. L., Bukhhalo, S. I. Doslidzhennja vplivu funkcional'nih komponentiv na vlastivosti m'jasnih virobiv. Teoretichni ta eksperimental'ni aspekti suchasnoi himii ta materialiv TASH-2024: Materiali III Mizhnarodnoi naukovoї konferencii. 20 travnja 2024 r., m. Dnipro.–Dnipro:“Serednjak TK”, 2024.–216 p., 121–123.
2. Koval'chuk V.M. Zemel'ko M.L., Bukhhalo S.I. Algoritmi vplivu funkcional'nih komponentiv na osnovni vlastivosti dejakih riznovidiv m'jasnih virobiv. Informacijni

- tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 ps., 582.
3. Zemel'ko M.L., Bukhhalo S.I., Koval'chuk V.M. Vznachennja vlastivostej dejakih riznovidiv m'jasnih virobiv z funkcional'nimi komponentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 587.
  4. Koval'chuk V. (2024). Diplomna robota: doslidzhennja vplivu funkcional'nih komponentiv na vlastivosti m'jasnih virobiv. Ukraïns'kij derzhavnij universitet nauki i tehnologij NNI «Ukraïns'kij derzhavnij himiko-tehnologichnij universitet. Dnipro.
  5. Orlova E.I., Leshhenko V.O., Bukhhalo S.I. Prikjadi ta zadachi do kursu «Zagal'na tehnologija harchovih virobniectv» (navch.-met. posibnik), Kharkiv: NTU «KhPI», 2001. 140 p.
  6. Bukhhalo S.I. Tehnologija osnovnih harchovih virobniectv u prikladah i zadachah (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2003. 184 p
  7. Bukhhalo S.I., Tovazhnjanskij L. L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevyh proizvodstv i jenergoberezenie (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 460 p.
  8. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O., Orlova E.I. Zagal'na tehnologija harchovih virobniectv u prikladah i zadachah [tekst] pidr. K.: CNL, 2005. 496 p
  9. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O., Orlova E.I. Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah [tekst] pidruchnik K.: CNL, 2008. 600 p.
  10. Bukhhalo S.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A. Tehnologichne obladnannja harchovoï galuzi (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 185 p.
  11. Bukhhalo S.I., Lazarev M.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A., Ruban N.P., Novosel'cev O.O. Procesi ta aparati harchovih virobniectv (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 153 p.
  12. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M., Ol'hov'ska O.I. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2013. 352 p.
  13. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah, pidr. K. CNL, 2011. 832 p.
  14. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2014. 412 p.
  15. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
  16. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) / Tovazhnjanskij L.L., Denisova A.E., Demidov I.M., Kapustenko P.O., Arsen'eva O.P., Bilous O.V., Ol'hov'ska O.I. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiïv «Centr uchbovoï literaturi»: 2016, 468 p.
  17. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (prikjadi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiïv «Centr uchbovoï literaturi»: 2018, 108 p.
  18. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (prikjadi ta testi z tehnologii krohmalju). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. K «Centr uchbovoï literaturi»: 2019, 108 p.
  19. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (prikjadi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoï sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K: «CNL»: 2022, 108 p.
  20. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noï vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. H.:NTU «KhPI». 208 p.
  21. Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noï tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». 217 p.
  22. Ol'hov'ska V.O., Kravchenko O.S., Bukhhalo S.I. Skladovi algoritmu poshuku racional'nih zakonomirnostej roboti obladnannja. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVIII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnja Ch. II./za red. prof. Sokola E.I. – Kh: NTU «KhPI», 2020, p. 249.
  23. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Mirosnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects/2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340). – p. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
  24. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138–144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
  25. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019. 186442. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442>.
  26. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
  27. Bukhhalo S.I. Udoskonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.: 2014. № 16. S. 3–11.
  28. Bukhhalo S.I., Ol'hov'ska O.I., Ol'hov'ska V.O., Zipunnikov M.M. Doslidzhennja ta analiz innovacijnih zahodiv z tehnologii kompleksnoï utilizacii pisljaspirtovoï bardi. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340), pp. 66–74. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.12
  29. Bukhhalo S.I. Mozhlivosti rozvitku tehnologij modifikovanih krohmaliv. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346). – pp. 84–93. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
  30. Bukhhalo S.I. Osnovni skladovi kompleksnih pidpriemstv energetichnogo miksu. Visnik NTU «KhPI». 2015. № 7 (1116), pp. 103–108.
  31. Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.

32. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Kravchenko V.O., Kopejchenko S.A., Nazarenko M.V. Prikladi ta zadachi kompleksnogo vkladannja disciplini harchova himija. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 89–96.
33. Bukhhalo S.I. Kompleksni sistemi vkladannja disciplini osnovi proektuvannja obladnannja himichnih virobniectv jak spivpracija asociacij EFCE ta CFE-UA. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 13–22.
34. Bukhhalo S.I., Zemelko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoї masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
35. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17-19 maja 2018. Kh.: Ch. II, h. 201.
36. Bukhhalo S.I. Udoskonaljvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI». 2014, № 16, pp. 3–11.
37. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks / Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340), pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14

Надійшла (received) 19.07.2024

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Ковальчук Вікторія Миколаївна (Ковальчук Виктория Николаевна, Kovalchuk Viktoriia)** – бакалавр кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна;

e-mail: [kovalchukvika15@gmail.com](mailto:kovalchukvika15@gmail.com)

**Земелько Марія Леонідівна (Земелько Мария Леонидовна, Mariia Zemelko)** – старший викладач кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1405-5905>;

e-mail: [kushnir2609@gmail.com](mailto:kushnir2609@gmail.com)

**Бухало Світлана Іванівна (Бухало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>;

e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**V. M. KOVALCHUK, M. L. ZEMELKO, S. I. BUKHALO**

**EXAMPLES OF DISSECTION OF FUNCTIONAL MEAT PRODUCTS FOR COMPLEX TECHNOLOGY**

Developing functional products is an important process for modern manufacturers. Such products have high organoleptic rates and high nutritional value. The paper deals with the examples of determining the innovative possibilities of making meat products and examining the impact of functional components on their characteristics. The study is aimed at analyzing and selecting the quantity and combinations of functional ingredients, for the development of products with improved characteristics. The influence of functional components on rheological, physicochemical and organoleptic characteristics of meat products is also established. The theoretical and methodological bases of the study were the provisions of general scientific methods of cognition and specific methods of assessing the quality of finished meat products and raw materials from which it is made. Theoretical generalization, grouping and comparison was used to reveal the essence of the concept of "functional components". On the basis of comparison of theoretical knowledge and practical experiments, conclusions and proposals for improving production and improving the properties of meat products with functional components are made. The materials of the article determine the main prospects of further development of the hierarchy of complex components of innovative training in special disciplines 181 food technologies.

**Keywords:** innovative food technologies, food fibers, fiber, starch, meat product, rheological indicator, definition of example models.

**С. І. БУХКАЛО, Н. В. ЯКИМЕНКО-ТЕРЕЩЕНКО**

## **ІННОВАЦІЙНІ КОМПЛЕКСНІ ПРОЕКТИ ЯК СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННА СПРАВА» (НА ПРИКЛАДІ ДИСЦИПЛІНИ СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧУВАННЯ)**

У матеріалах статті розглянуті приклади можливостей для визначення цілей навчання студентів ВНЗ за освітньою програмою Готельно-ресторанне господарство з метою розробки комплексних дисципліни Сучасні технології харчування для складових комплексних інноваційних проектів за ситуаційними завданнями. При написанні статті використано досвід викладання дисциплін Загальні технології харчових виробництв, Харчова хімія, Сучасні технології харчування, Товарознавство та управління закупівлями, Основи проектування обладнання в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» на кафедрі інтегрованих технологій, процесів і апаратів у 2002–2024 рр. Комплексні системи визначення складових дисципліни зумовили компетентності та якість матеріалу, а питання, що розглядаються пропущені через призму власного творчого сприйняття, що робить матеріал особливо цінним. Розробки проведені з застосуванням сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій виробництва різновидів майонезу, наприклад, від різновидів аналізу класифікації-ідентифікації, загальних понять та вимог до різновидів методології визначення показників рівня якості, їх оцінки через вибір алгоритмів аналізу та розрахунків на різних стадіях виробництва та застосування отриманих продуктів.

**Ключові слова:** готельно-ресторанна справа, харчова хімія, сучасні технології харчування, товарознавство та управління закупівлями, інноваційні ресторани технології, майонез, ситуаційні завдання.

### **Вступ.**

Суб'єкти готельного і ресторанного бізнесу є важливою складовою сфери послуг, яка сьогодні динамічно розвивається, посилює свою роль і значення у виробництві валового внутрішнього продукту країни. Отже, розуміння сутності сучасних технологій харчування, економічних явищ їх застосування, процесів та закономірностей виключно важливо для покращення результатів діяльності та довгострокового розвитку як всієї галузі, так й окремих її суб'єктів.

За таких умов важливого значення набуває підготовка фахівців із сучасним економічним мисленням у галузях сучасних технологій харчування [1–15], комплексним розумінням проблем різновидів діяльності суб'єктів готельного і ресторанного бізнесу.

### **Складові навчання.**

Навчальна дисципліна «Сучасні технології харчування» має на меті формування у студентів як комплексного теоретичними мислення з технології виробництва продукції ресторанного господарства так і професійними. Комплексне розуміння проблем господарсько-фінансової діяльності суб'єктів готельного і ресторанного бізнесу та опанування навичками їх практичного розв'язання – складова навчання. За результатами вивчення дисципліни студент має: 1) знати, розуміти і вміти використовувати на практиці базові поняття з теорії готельної та ресторанної справи – сучасні технології харчування, організації обслуговування споживачів та діяльності суб'єктів ринку готельних та ресторанних послуг, а також суміжних наук; 2) розуміти принципи, процеси і сучасні технології харчування, організації роботи суб'єктів готельного та ресторанного бізнесу; 3) аналізувати, інтерпретувати і моделювати на основі існуючих наукових концепцій сучасних технологій харчування

сервісні, виробничі та організаційні процеси готельного та ресторанного бізнесу; 4) розуміти економічні процеси сучасних технологій харчування та здійснювати планування, управління і контроль діяльності суб'єктів готельного та ресторанного бізнесу; 5) виконувати самостійно завдання, розв'язувати задачі і проблеми, застосовувати їх в різних професійних ситуаціях та відповідати за результати своєї діяльності ; 6) аргументовано відстоювати свої погляди у розв'язанні професійних завдань при організації ефективних комунікацій зі споживачами та суб'єктами готельного та ресторанного бізнесу; 7) розуміти вимоги до діяльності за спеціальністю, зумовлені необхідністю забезпечення сталого розвитку України, її зміцнення як демократичної, соціальної, правової держави.

### **Цілі та задачі навчання.**

В процесі вивчення дисципліни значну роль відіграють лабораторні заняття, які є активною формою аудиторної роботи студентів. Метою лабораторних занять (табл. 1, 2) є закріплення студентами знань, одержаних на лекційних заняттях, в процесі самостійної роботи і придбання практичних навичок вирішування конкретних завдань – опанування навичками їх практичного розв'язання.

Система контролю якості навчання студентів включає поточний та підсумковий контроль. Поточний контроль проводиться на лабораторних заняттях для виявлення рівня знань студентів за окремо взятий період часу. Підсумковий контроль здійснюється наприкінці семестру. Зазвичай такі інноваційні методи навчання завершуються публікацією статті або тез міжнародної конференції для кожного студента, що потребує на першому етапі визначення складових навчання за дисципліною Сучасні технології харчування та інші [16–18].

© Бухкало С.І., Якименко-Терещенко Н.В., 2024

Таблиця 1. Класифікація-ідентифікація деяких складових Силабусу за дисципліною Сучасні технології харчування (Бухкало С.І.)

№	Приклади ієрархії складових навчання за дисципліною
1	Характеристика особливостей сучасних технологій харчування як складова продукції ресторанного господарства: визначення складових за класифікацією-ідентифікацією нутриціології як науки, її мета, основні поняття теорії її концепції харчування; систематизація основних видів харчової продукції: функції їжі, взаємодія організму людини з навколишнім середовищем – основні характеристики та властивості з урахуванням ієрархії складових соціально-економічних передумов створення в Україні індустрії здорового харчування за об'єктами визначення: класична теорія харчування, теорія адекватного харчування, альтернативні теорії та концепції харчування.;
2	Нормативно-технологічна структура та документація з сучасних технологій харчування у закладах ресторанного господарства. нормативна і технологічна документація закладів ресторанного господарства з визначення класифікації-ідентифікації та характеристик різновидів харчових і дієтичних добавок; гігієнічна регламентація харчових добавок продуктах харчування; межі токсичності речовин відповідно до нормативно-технічної документації. Харчові інгредієнти – нутрицевтики, пробіотики, парафармацевтики та їх характеристики. – можливості формування складу функціональних продуктів сучасної структури харчування за прикладами основних груп.
3	Функціонально-технологічні властивості білків та вуглеводів в закладах готельно-ресторанного господарства: систематизація зміни білків під час різновидів технології переробки харчової сировини – особливості процесів денатурації і гідратації – ієрархії визначення форм зв'язку води з білками та деякі складові процесів утворення інноваційної продукції харчування – основні характеристики та властивості; систематизація зміни вуглеводів під час різновидів технології переробки харчової сировини – особливості процесів денатурації і гідратації.
4	Визначення складових та класифікації-ідентифікації зміни жирів під час зберігання харчової сировини основні поняття і технології харчування за нормативно-технічною документацією; систематизація зміни жирів під час різновидів технології переробки харчової сировини – особливості процесів виробництва; загальна класифікація-ідентифікація складових ієрархії визначення деяких процесів утворення інноваційної продукції за прикладами.
5	Визначення складових та класифікації-ідентифікації зміни ферментів під час зберігання харчової сировини основні поняття і технології харчування. Систематизація зміни ферментів під час різновидів технології переробки харчової сировини – особливості процесів виробництва. Загальна класифікація-ідентифікація складових ієрархії визначення деяких процесів утворення інноваційної продукції харчування – основні характеристики та властивості за прикладами
6	Класифікація-ідентифікація та аналіз можливостей зберігання вмісту та властивостей вітамінів і мінеральних речовин у продуктах сучасного харчування за НТД. Систематизація зміни ферментів під час різновидів технології переробки харчової сировини – особливості процесів виробництва. Загальна класифікація-ідентифікація складових ієрархії визначення деяких процесів утворення інноваційної продукції харчування за прикладами.
7	Класифікація-ідентифікація за НТД можливостей поліпшення властивостей продуктів харчування введенням інноваційних інгредієнтів: 1) зовнішнього вигляду та органолептичних характеристик; 2) регулювання кольору натуральними, синтетичними барвниками або харчовими добавками; для; 3) смакоароматичних, спецій, прянощів, приправ, ефірних олій, ароматичних есенцій; 4) природних та синтетичних підсолоджувачів, цукрозамінників та ін.; 5) регулювання консистенції – стабілізатори, згущувачі, пектинові речовини і желатин, полісахариди морські водорості, емульгатори природні та синтетичні.
8	Методи, форми визначення та аналізу різновидів функціонально-технологічних властивостей для закладів готельно-ресторанного господарства: класифікація методів, форм, комплексних характеристик сучасних технологій харчування за відповідними показниками НТД для закладів ресторанного господарства. Концепції та загальна класифікація-ідентифікація складових ієрархії визначення деяких процесів утворення та виробництва інноваційної продукції харчування – основні характеристики та властивості за прикладами.
9	Загальні характеристики сучасних технологій харчування у закладах готельно-ресторанного господарства: структура та особливості розвитку харчування за відповідними показниками НТД для закладів ресторанного господарства; продовольча безпека і виробництво продуктів харчування за сучасними теоретичними дослідженнями; структура факторів сучасного розвитку виробництва продуктів харчування – галузеві (технологічні й структурні, управлінські й правові, працересурсні та ін.), а також територіальні (регіональні, геолокаційні, соціальні) з урахуванням сталого розвитку системи виробництва та споживання за прикладами сучасних технологій харчування.
10	Сучасні-технології харчування – особливості виробництва різновидів продукції молочної галузі: класифікація-ідентифікація та аналіз можливостей – ринок молока і молочних продуктів., хімічний склад та харчова цінність молока, асортимент та характеристика молока і молочних продуктів – складові процесів технології первинної обробки молока, особливості технології механічної та теплової обробки молока; процеси нормалізації і гомогенізації молока.
11	Визначення складових та класифікації-ідентифікації технологічних основ та визначень теорії її концепції харчування. Систематизація основних видів харчової продукції: функції їжі, взаємодія організму людини з навколишнім середовищем, складові якості і безпечності харчування населення. Ієрархія складових соціально-економічних передумов створення в Україні індустрії здорового харчування за об'єктами навчання.
12	Характеристика та структура вивчення складових сучасної технології харчування: класифікація-ідентифікація та аналіз можливостей зберігання функціональних властивостей вітамінів і мінеральних речовин у інноваційних продуктах з рибної сировини. Визначення складових та класифікації-ідентифікації технологічних параметрів різновидів рибної продукції. Систематизація основних видів харчової продукції: функції їжі, взаємодія організму людини з навколишнім середовищем, складові якості і безпечності харчування населення.
13	Класифікація-ідентифікація та аналіз загальних особливостей складових різновидів сучасної кухні як технології харчування народів світу: українська, грецька, французька італійська, іспанська, англійська, болгарська, турецька, японська та американська кухні у різновидах закладів готельно-ресторанного господарства. Сучасні технології виробництва продуктів харчування: структура і особливості розвитку харчування за відповідними показниками НТД.

Таблиця 2. Класифікація-ідентифікація деяких складових прикладів експериментального аналізу та розрахунків (Бухкало С.І.).

№	Приклади ієрархії складових дослідження за дисципліною Сучасні технології харчування
1	Порівняльна характеристика органолептичних властивостей, вологості та кислотного числа для різновидів сировини сучасних технологій ресторанного господарства. Вивчення видової структури різновидів борошна за органолептичними властивостями та методиками їх визначення відповідно до НТД. Ознайомлення з особливостями сировини за експериментальним визначенням кислотності борошна, яка характеризує тривалість зберігання борошна й впливає на кислотність тіста й хліба.
2	Дослідження та аналіз порівняльної характеристики технології застосування різновидів борошна – визначення масової долі води за різновидами методів сушіння. Розвинування навичок експериментального визначення відповідно до НТД «сили» борошна за кількістю та властивостями клейковини, визначення виходу й дослідження її фізичних властивостей залежно від сорту та якості вихідного пшеничного борошна з метою розвитку ресторанного господарства України та ознайомлення із сучасними технології виробництва продуктів харчування. Сутність складових, структура та особливості розвитку харчування за відповідними показниками НТД за форматами закладів ресторанного господарства.
3	Дослідження хлібопекарних властивостей технології пробною випічкою виробів з різновидів борошна – сировини сучасних технологій харчування ресторанного господарства. Комплексне визначення видової структури різновидів борошна за технологічними властивостями та методиками показників якості відповідно до НТД. Ознайомлення з експериментальним визначенням кислотного числа, вологості та хлібобулочних і макаронних виробів.
4	Експериментальне визначення технології хлібопекарських властивостей пресованих дріжджів – нормативна документація технології для закладів ресторанного господарства. Розвинування навичок експериментального визначення хлібопекарських властивостей пресованих дріжджів: порівняльна оцінка методів вологості, кислотності, піднімальної сили, стійкості при зберіганні й ін. Ознайомлення з основними характеристиками якості сировини й хлібопекарських пресованих дріжджів відповідно до НТД залежно від сорту вихідного пшеничного борошна та особливостей проведення технологічних операцій за збірниками відповідних рецептур.
5	Дослідження різновидів технології виробництва майонезу та соусів – порівняльна характеристика для закладів ресторанного господарства. Ознайомлення з основними особливостями сучасної технології майонезу за основними стадіями виробництва, отримання навичок розрахунку компонентів сировини за рецептурою. Експериментальне визначення якості різновидів майонезу та соусів – порівняльна характеристика та принципами визначення цільових функцій дослідження за сучасними технологіями харчування відповідно до НТД.
6	Дослідження з виготовлення й аналізу технології виробництва карамельної та помадної маси на інверсному сиропі для закладів ресторанного господарства. Ознайомлення з основними особливостями технології кондитерських виробів за основними стадіями виробництва, отримання навичок розрахунку компонентів сировини за рецептурою та визначення якості різновидів продукції – порівняльна характеристика та принципами експериментального визначення цільових функцій дослідження за сучасними технологіями харчування відповідно до НТД.
7	Дослідження з сучасних технологій виготовлення й аналізу властивостей різновидів технології напівфабрикатів та продуктів для закладів ресторанного господарства. Ознайомлення з основними особливостями сучасної технології напівфабрикатів та виробів за основними стадіями виробництва, отримання навичок розрахунку компонентів сировини за рецептурою та визначення якості різновидів продукції – порівняльна характеристика та принципами експериментального визначення цільових функцій дослідження НТД за сучасними технологіями харчування.

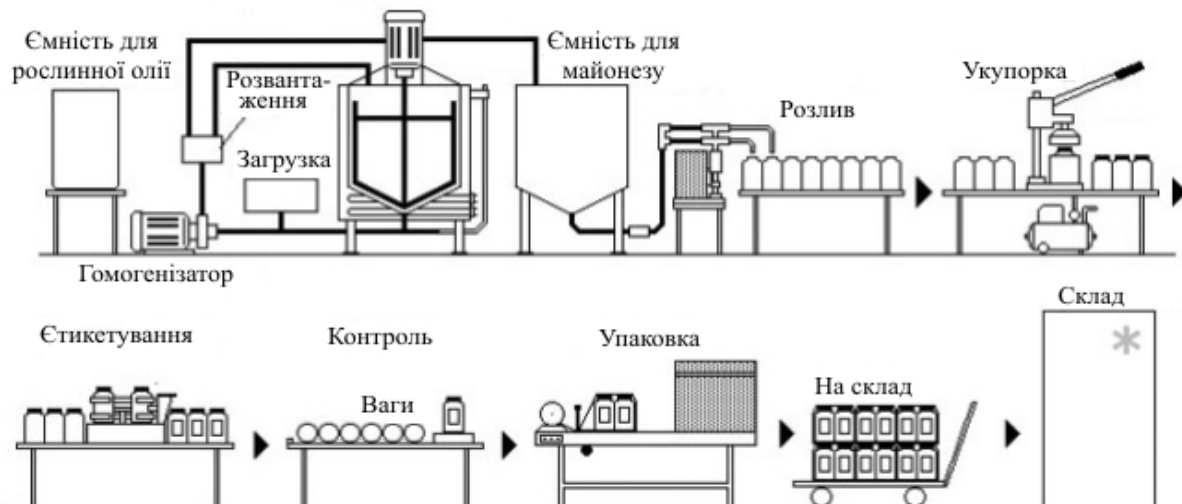


Рис. 1. Приклади технологічної схеми виробництва майонезів: класифікують за вмістом рослинного масла на три групи: 1) висококалорійні зі вмістом масла більше 55%; 2) середньокалорійні зі вмістом масла в межах 40% – 55%; 3) низькокалорійні зі вмістом масла менш 40%.

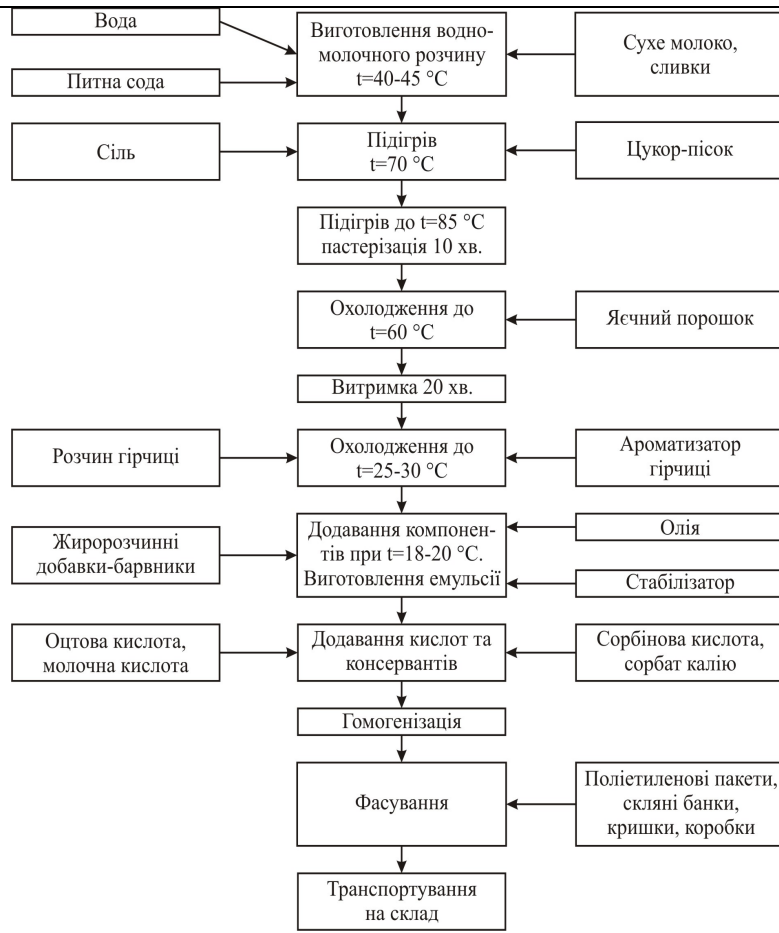


Рис. 2. Функціональна схема виготовлення майонезу

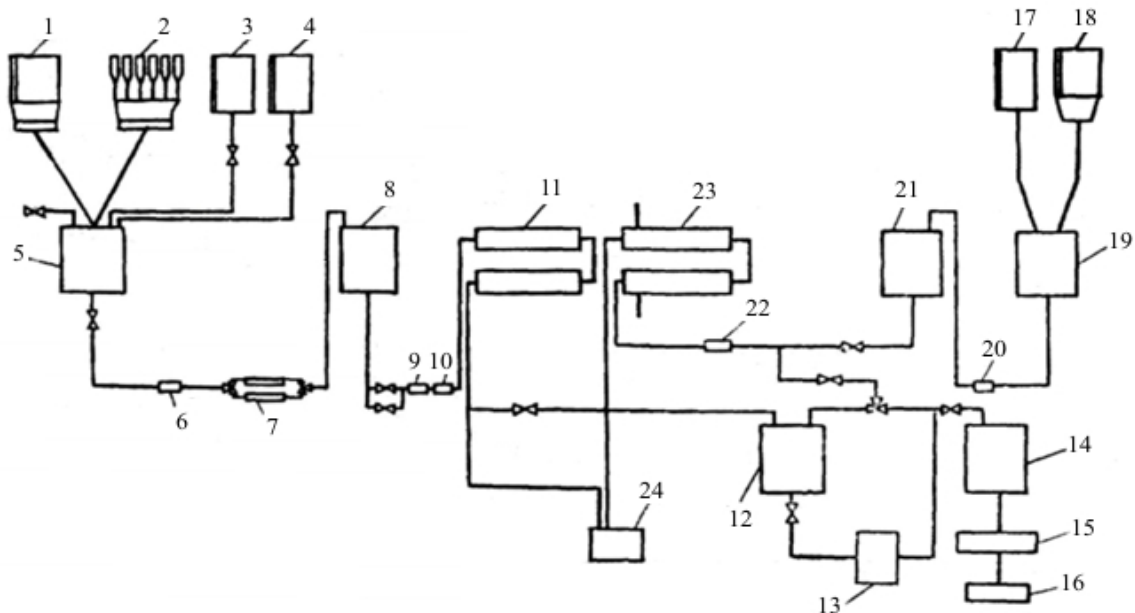


Рис. 3. Принципова схема виробництва майонезу:

1 – ємність для олії, 2 – ємності для води, 3 – ваги, 4, 5 – апарати для приготування майонезної емульсії, 6 – гомогенізатор, 7 – бак готового продукту, 8 – автомат для фасування, 9, 10, 11, 12 – насоси

Класифікація-ідентифікація ієрархії аналізу результатів навчання за дисципліною представлена за прикладами сучасних технологій харчування. Студенти визначають показники для різновидів підприємств ресторанного господарства:

1) методи контролю технологічного процесу продукції власного виробництва за алгоритмами дослідження;

2) засоби контролю технологічного процесу продукції власного виробництва закладу за алгоритмами дослідження;

класифікація-ідентифікація у таких прикладах визначена комплексними складовими описових алгоритмів навчання за освітньою програмою (ОПП):

**Постановка проблеми у загальному вигляді за прикладами об'єктів вивчення дисципліни.**

**Приклад визначення загальних відомостей про об'єкти вивчення та предмет дисципліни, ціль навчання, характеристика різновидів технології виробництва майонезу та соусів.**

**Ситуаційна задача 1** Особливості загальної характеристики. Майонез – багатокomпонентний [16–23, 26, 28] харчовий продукт, це сметаноподібна дрібнодисперсна емульсія типу «олія в воді». Його виготовляють з рафінованих дезодорованих рослинних олій з додаванням води, сухого молока, яєчного порошку, цукру, емульгатору, стабілізатору, смакових добавок і прянощів. Залежно від складу й призначення майонезу підрозділяють на:

- закусочні – столові, із пряностями, з різновидами добавок та інші;
- десертні – замість оцтової кислоти вводять лимонну, солодкі добавки (наприклад, фруктовоягідні повидла) і харчові есенції;
- дієтичні – цукор замінений ксилітом або сорбітом та інші.

За консистенцією майонезу можуть бути:

- сметаноподібними, наприклад, Провансаль, Молочний, із пряностями та інші;
- пастоподібними, наприклад, у майонез типу Провансаль додають казеїн, яєчний жовток у порошку, а частину рослинного масла заміняють гідрогенізованим жиром;
- порошкоподібними, наприклад, одержують шляхом сублімаційного або розпилювального сушіння високодисперсної майонезної емульсії, приготовленої на основі відповідних рецептурних компонентів.

Майонез виготовляють з додаванням прянощів і фруктових наповнювачів, наприклад: із хрінном, червоним перцем, коріандром, томатною пастою, лимонною есенцією, різного роду фруктовими соками та ін.

Рецептурний склад і технологія виробництва майонезу визначаються відповідно до призначення та умов використання. Залежно від призначення майонезів у їх рецептурах передбачено різну кількість олії (відповідно, отримують високо- та низькоконцентровані продукти).

Майонез як продукт сучасних технологій харчування можна розглядати за показниками високої біологічної цінності рослинних олій: соняшникова, бавовняна, соєва, арахісова, кукурудзяна, ріпакова згідно з чинною нормативною технічною документацією, гірчична, оливкова імпорного виробництва, дозволена центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я для виробництва майонезу. Усі олії, які використовують для виробництва майонезів, повинні бути рафіновані та дезодоровані. Представлені олії є для організму людини джерелом не тільки калорій, але й фізіологічно-активних (есенціальних) кислот, які, наприклад, сприяють зниженню вмісту холестерину в крові та профілактиці атеросклерозу.

Це також молоко і яєчний порошок, як джерело білків, важливість використання яких у харчуванні зумовлена присутністю незамінних амінокислот; безпосередньо жовток курячого яйця, який містить значну кількість лецитину необхідного для нормалізації роботи печінки, тобто основного регулятора жирового обміну в організмі.

Цукор розглядають як джерело вуглеводів – глюкози і фруктози; кислоти (оцтова, лимонна) є носіями смаку і аромату, сприяють травленню, а також забезпечують у майонезі необхідну за різними потребами кислотність середовища, а також, наприклад, зумовлює бактерицидну дію.

Вітамінний комплекс, представлений групами вітамінів А, Е, Д С, В, К, які входять до складу рослинних олій, сухого молока, а також спеціально вводяться за необхідності згідно рецептури.

**Ситуаційна задача 2** – загальна характеристика з прикладу сучасної технології виробництва та застосування майонезу.

Описові алгоритми за функціональною схемою виробництва майонезу (рис. 1–3) не залежно від апаратурного оформлення процесу мають основні та допоміжні стадії: підготовка окремих компонентів рецептурного складу;

- підготовка пасти-основи, що емульгує та структурує;
- підготовка «грубої» емульсії;
- підготовка, дрібнодисперсної емульсії (гомогенізація);
- введення смакових і ароматичних добавок, які неможливо було ввести на попередніх стадіях.

Сипкі компоненти: сухе молоко, цукор-пісок, яєчний порошок гірчичний порошок та сіль просівають на віброситах, які мають магніти для вловлювання ферродомішок, з перетином осередків 1–3 мм. Відсутність грудочок в сухих компонентах збільшує їх вологоємність і дисперсність в процесі набухання, поверхнево-активні властивості і здатність до емульгування (рис. 3).

Сировину – сухе молоко, яєчний порошок гірчичний порошок, цукор, сіль, сода – подають підйомником на площадку, де завантажують у бункери 1 і 2.



У ємності на вагах 4 виготовляють водно-оцтовий розчин у концентрації, що відповідає рецептурному вмісту води й оцтової кислоти вироблюваного майонезу.

У ємності на вагах 3 зважують рецептурну кількість рослинного масла. Зважені відповідно до рецептури компоненти майонезу направляються в змішувач 5 у наступному порядку: водно-оцтовий розчин, яєчний порошок потім через якийсь час – сухе молоко, гірчичний порошок, цукор, сода, сіль і рослинне рафіноване масло.

Після достатнього перемішування «грубу» майонезну емульсію насосом 6 через фільтр 7 перекачують у деаератор 8 під тиском 0,2–0,25 МПа. У деаераторі 8 з емульсії видаляють повітря й летучі ароматичні речовини гірчиці при залишковому тиску  $0,79 \cdot 10^{-2}$  –  $1,33 \cdot 10^{-2}$  МПа.

Далі емульсію подають насосом 9 і далі насосом-дозатором 10 направляють у ротатор 11, де обробляють при температурі 53–55 °С, потім прохолоджують крижаною водою (1–3 °С) і подають у живильний бак 12, звідки, самопливом направляють у гомогенізатор 13.

Після цього дрібнодисперсну емульсію подають у бак готової продукції 14, куди при виготовленні майонезів зі смаковими добавками вводять пряно-ароматичні екстракти й пряності, а потім на автомат-наповнювач 15 і закаточний автомат 16.

Закриті банки проходять через автомат, де їх упаковують по 6, 8, 10 штук у поліетиленову плівку, укладають в короби й відповідні контейнери.

Для забезпечення необхідного температурного режиму на різних технологічних ділянках лінії передбачені установки для підігріву й охолодження води, що складаються з регуляторів температури й насосів, а також баку санітарного браку.

**Ситуаційна задача 3** Визначення асортименту майонезу та правил відбору проб для аналізу за ДСТУ 4487:2015 Майонези та майонезні соуси. Загальні технічні умови. Асортимент у звіті подати в залежності від класифікаційних ознак. Об'єм вибірки від партії продукції транспортній тарі складає 10% одиниць транспортної тари з продукцією.

Із кожної одиниці транспортної тари з продукцією, що включені у вибірку, відбирають по одиниці споживчої тари з продукцією. Майонез в споживчій тарі перемішують шпателем близько 1 хвилини після відкриття тари. Отриману продукцію зливають із тари в посуд і складають об'єднану пробу, із якої виділяють пробу масою 100г, яка призначена для аналізу.

**Ситуаційна задача 4** Консистенція майонезів всіх видів повинна бути однорідна, сметаноподібна. Для майонезів з прянощами, смаковими і желюючими добавками – допускається наявність частинок прянощів та внесених добавок.

Дослідження якості продукції за органолептичними та фізико-хімічними показниками. До сенсорних (органолептичних) властивостей у

НТД на різновиди майонезів відносять показники: консистенція – 1, колір – 2, запах – 3, смак – 4 (табл. 3: Міністерство сільського господарства США – МСГ).

Таблиця 3. Органолептична характеристика майонезу

№	Характеристика згідно з нормативними документами		
	CODEX STAN 168	ДСТУ 4487-2005	Вимоги МСГ
1	щільний, гладкий продукт, неприпустимі розшарування або наявність видимих краплин олії	однорідний, сметано- або кремоподібний густий продукт з поодинокими бульбашками повітря	однорідний, сметаноподібний, гладкий без включень
2	від світлокремового до блідожовтого; допустиме знебарвлення у місцях наявності подрібнених спецій	від білого до кремуватожовтого, або обумовлений кольором добавок, однорідний за всією масою	від білого до світлокремового
3	властивий для майонезу, недозволена наявність сторонніх запахів	притаманний майонезу конкретної назви	легкий запах оцту та аромат з нотками спецій на фоні чистого аромату олії
4	властивий для майонезу, недозволена наявність сторонніх присмаків	притаманний майонезу конкретної назви	властивий, характерний для майонезу

В майонезі нормуються такі фізико-хімічні показники: масова частка вологи, жиру, кислотність в перерахунку на оцтову або лимонну кислоту, стійкість емульсії, яка визначається в процентах жиру, який виділився. Масова частка вологи в майонезах коливається від 25% до 63%. Масова частка жиру в майонезах коливається від 30–35% до 65–75%. Кислотність всіх видів майонезів визначають в перерахунку на оцтову кислоту (виняток – майонез Апельсиновий, кислотність якого визначають в перерахунку на лимонну кислоту); оцет використовують при виробництві майонезу як смакову добавку, до того ж він перешкоджає розвитку бактеріальної мікрофлори.

Стійкість емульсії майонезу залежить від рецептурних компонентів, які використовуються в якості емульгаторів: сухе молоко, яєчний і гірчичний порошки.

**Ситуаційна задача 5** Особливості визначення складових за асортиментом продукції. Майонез «Провансаль» містить не менше 65,4% рослинної олії, має ніжний, злегка гострий, кислуватий смак без слідів гіркоти, з запахом і присмаком гірчиці та оцту. Може використовуватись як приправа для салатів, овочевих, рибних і м'ясних блюд.

Майонез «Молочний» за складом, органолептичними властивостями і застосування близький до майонезу столового «Провансаль». Містить знижену кількість яєчного порошку і незбиране коров'яче молоко. Може використовуватися для приправлення салатів, овочевих, рибних та м'ясних блюд.

Майонез «Любительський» характеризується зниженим вмістом олії (46%) і гірчичного порошку. Його можна виготовляти і без введення гірчичного порошку. За органолептичними показниками цей соус близький до майонезу «Провансаль», однак відрізняється від нього більш м'яким смаком.

Майонез «Гірчичний» містить знижену кількість (35%) рослинної олії, відзначається гострим смаком з вираженим присмаком гірчиці та оцту. Рекомендується як приправа для овочевих, рибних та м'ясних блюд.

Майонез «Святковий» має гострий смак з присмаком внесених прянощів. Характеризується багатим і вишуканим букетом прянощів. Рекомендується для овочевих, рибних та м'ясних блюд.

Майонез «Салатний» містить знижену кількість (35%) рослинної олії, володіє гострим смаком з присмаком гірчиці та оцту. Рекомендований для салатів, а також овочевих, рибних та м'ясних блюд.

Ідеальною для виробництва майонезу вважається олія, що не містить восків (олія після виморожування). Для виробництва майонезу може бути використано сухе незбиране або знежирене молоко. Сухе молоко є емульгатором і структуроутворювачем, здатність білків молока до набухання покращує вологозбереження і забезпечує структурну дію на весь комплекс речовин, що входять до складу майонезу. Сухе молоко повинно гарантувати ефективне вологозбереження, ступінь якого пов'язана з методом сушіння молока. Більш повно відповідає цим вимогам молоко розпилювального сушіння.

Яєчний порошок і яєчний жовток також є емульгаторами: їх високу здатність до емульгування, що зумовлено присутністю в їх складі лецитину.

Гірчичний порошок, завдяки вмісту в ньому гірчичної алілової олії, є смаковою добавкою і виконує також функції емульгатора та структуроутворювача за рахунок присутності рослинних білків.

Сіль є смаковою добавкою і в невеликій мірі консервуючим агентом. Слід враховувати здатність солі та її водних розчинів виконувати функції дестабілізатора емульсії та коагулятора. Тому кількісне введення солі до складу майонезів дуже обмежене, а також вимагає використання її у вигляді розчинів в технологічному процесі лише на стадіях, де виключається активна руйнівна дія.

Харчова сода підтримує в системі певний рівень рН, що оптимізує процес набухання білків молока, перехід їх у стан найбільш активної дії як емульгатора, так і структуроутворювача емульсії.

Цукор є смаковою добавкою. Оцтова та молочна кислоти виступають не тільки смаковою добавкою, але і бактерицидним чинником як у процесі виробництва майонезу, так і в перші дні зберігання. Оцтова кислота навіть у розбавленому вигляді легко руйнує емульсію, тому введення її розчину допустимо лише після одержання стійкої емульсії, коли руйнівна її дія зводиться до мінімуму.

**Ситуаційна задача 6** Приготування сучасних продуктів харчування за прикладами.

6.1. Пастоподібний майонез з зеленим сиром:

1. Приготування розчинника у змішувач подають воду (308,2 л), нагрівають до температури 80–90 °С розчиняють в ній двозаміщений фосфорнокислий натрій (11,3 кг в перерахунку на безводну сіль), потім у розчин вносять лимонну кислоту (0,5 кг).

2. Обробка зеленого сиру і сухого молока: у приготовлений розчинник завантажують зелений сир (90 кг) і залишають для набухання на 1,5–2 год, періодично перемішуючи. Набряклий сир нагрівають до 60–70 °С, при роботі мішалки в змішувач подають сухе молоко (45 кг), перемішування продовжують до утворення однорідної текучої маси.

3. Готовий розчин зеленого сиру і молока перекачують у великий змішувач для приготування емульсії: включають мішалку великого змішувача (робоча частота обертів не менше 200 об/хв.), нагрівають масу до температури 75–80 °С і поступово вводять підігріту до 50–55 °С суміш рослинної олії (365 кг) і саломасу (100 кг).

4. Після введення всієї кількості жиру емульгування продовжують ще 10–20 хв., не припиняючи перемішування, в емульсію поступово вносять підігрітий до температури 35–40 °С гірчичний соус (80 кг).

5. Для тонкого диспергування емульсію при постійній температурі пропускають через гомогенізатор, спрямовуючи її у ванну з мішалкою і сорочковим обігрівом.

6.2. Рецептuri окремих видів майонезів з грибами (табл. 4).

Таблиця 4. Майонез з грибами

Компонент	Кількість
Паста з сухих грибів	50,0
Майонез 30%	30,0
Пасерована цибуля	20,0
Паста з сухих та солоних грибів 1:1	50,0

6.3. Приготування пастоподібного майонезу з сиром «Рокфор» Підготовка сиру «Рокфор» Головки сиру «Рокфор» звільняють від обгортки та змивають в теплій воді (30–40 °С). Сир після попередньої обробки ріжуть і подрібнюють на дзизі (діаметр отворів – 3 мм).

В апарат з мішалкою заливають воду (90 л), нагрівають до 80–90 °С і розчиняють в ній динатрійфосфат (9 кг у перерахунку на безводну сіль), в отриманий розчин вносять лимонну кислоту

(0,2 кг). У розчинник при температурі 30–40 °С завантажують сир «Рокфор» (180 кг), перемішують і залишають для набухання на 1,5–2 год, періодично його перемішуючи. Набряклий сир нагрівають до температури 60–70 °С при постійному перемішуванні до утворення однорідної текучої маси.

Підготовка сиру «Зелений»: у малий змішувач подають воду (188 л), нагрівають до 80-90 °С і розчиняють в ній динатрійфосфат (5,5 кг у перерахунку на безводну сіль), в отриманий розчин вносять лимонну кислоту (0,3 кг). У розчинник завантажують зелений сир (35 кг), перемішують і залишають для набухання на 1,5–2 год, періодично його перемішуючи. Набряклий зелений сир нагрівають до 60-70 °С, при працюючій мішалці в змішувач подають сухе знежирене молоко (40 кг), перемішування продовжують до утворення однорідної текучої маси.

Приготування емульсії: розчин зеленого сиру і молока перекачують у великий змішувач, включають мішалку, нагрівають масу до температури 80–90 °С і подають в апарат розплавлений сир «Рокфор». Не припиняючи перемішування у змішувач поступово вводять підігріту до 50–55 °С суміш рослинної олії (300 кг) і саломасу (100 кг). Після введення всієї кількості жиру емульгування продовжують 10-20 хв., потім в емульсію поступово вносять підігрітий до 40 °С розчин цукру (9,5 кг) в 5%-му оцті (42,5 л). Для тонкого диспергування емульсію, не допускаючи її охолодження, пропускають через гомогенізатор спрямовуючи її у ванну з мішалкою і обігрівом. Тиск гомогенізації підтримують в діапазоні 0,5–1,5 МПа. [1–15].

6.4. Приготування гірчиного соусу Гірчиный соус готується згідно рецептури (табл. 5):

Таблиця 5. Рецептура гірчиного соусу

Компонент	Кількість, %
Гірчиный порошок	10,0
Вода	50,0
Оцтова кислота, 80%	4,1
Цукор пісок	12,0
Кухонна сіль	9,5
Рослинна олія	14,0
Чорний перець	0,1
Гвоздика	0,2
Кориця	0,1

Гірчиный порошок заливають окропом і ретельно перемішують до отримання однорідної маси, у співвідношенні компонентів 1:1. Отриману масу розрівнюють, заливають зверху шаром гарячої води: товщиною 6-7 см і витримують 8-12 годин, після чого залишки води зливають.

Побрібнену гвоздику, корицю і чорний перець кип'ятять з водою у закритому бачку, потім охолоджують і відстоюють 2-3 години

Співвідношення між водою та спеціями 6:0,4. Верхній шар рідини зливають а нижній фільтрують

через тканину або через кілька шарів (допускається при виробництві пастоподібних майонезів використовувати вуглекислі екстракти чорного перцю, гвоздики і кориці).

Кухонну сіль цукор розчиняють у гарячій воді, взятій у кількості 32%. У розчин солі і цукру вносять гірчиный масу і обробляють в змішувач при температурі 40-50 °С протягом 30-40 хв., потім в суміш вводять екстракт спецій і оцет, після чого перемішування триває 20-30 хв. У гарячу масу при роботі мішалки вводиться рослинна олія. Гірчиный соус зберігають у ємності з антикорозійного металу і витрачають, за необхідності для виробництва майонезу. Термін зберігання гірчиного:: соусу не більше 48 годин.

6.5. Приготування майонезних кремів Майонезні креми «Молочний» і «Шоколадний» – це солодкі дієтичні продукти, що містять рослинну олію, яєчний порошок та сухе молоко. У якості смакових і ароматичних речовин використовують згущене молоко: згущене карамелізоване молоко, какао-порошок, ванілін, лимонну кислоту: в якості консерванту – сорбінову кислоту. Майонезні креми мають пастоподібну консистенцію і призначені для бутербродного і дитячого харчування, а також для приготування домашніх тортів і тістечок. Виробництво майонезних кремів складається з наступних етапів: підготовка сухих компонентів; приготування суміші какао і цукру; приготування згущеного карамелізованого молока; приготування майонезного крему; - гомогенізація.

**Ситуаційна задача 7** Дослідження складних задач з визначення швидкості зсуву продукту – майонезу в робочих органах технологічних апаратів та машин і відтворення в виробництві саме тих ефективних швидкостей зсуву, у роботі технологічного обладнання.

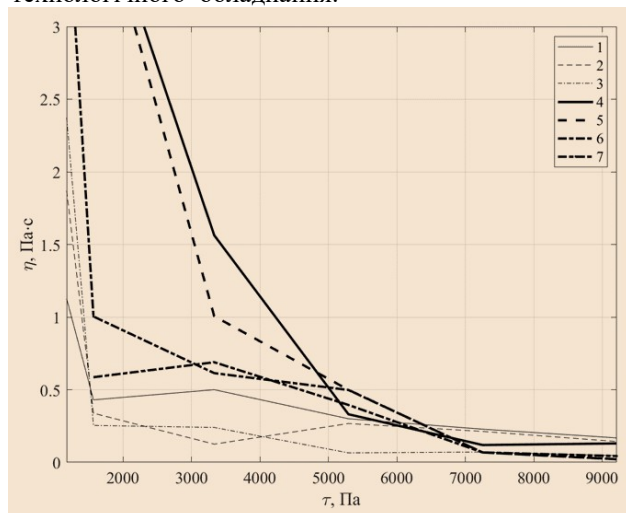


Рис. 4. Експериментальні дані залежності  $\eta(\tau)$  для різних видів майонезу: «Столовий» (1), «Провансаль» – відповідно 1(2) та 2(5), «Домашній для дітей» (3); майонезних соусів «Легкий1,2» (4, 7), «Сімейний» (6)

Застосування того чи іншого реологічного рівняння для опису течії сучасного харчового продукту перевіряється експериментально для діапазону швидкостей зсуву, що нас цікавить з точки зору ефективної роботи обладнання, і який повинен відповідати швидкостям зсуву, за яких досліджуваний матеріал застосовується у технологічному процесі.

Ефективну в'язкість  $\eta$  (Па·с) як результат виміру для дослідження випробуваного середовища при температурі  $T$  °C у момент часу  $t$  обчислюють за формулою:

$$\eta = \tau / D,$$

де  $\tau$  – напруження зрушення, Па;

$D$  – середня швидкість деформації зрушення, с<sup>-1</sup>.

Властивості в'язкості випробуваного середовища при даній температурі визначаються кривою ефективною в'язкості, що встановлює залежність ефективною в'язкості від середньої швидкості деформації зрушення.

Як відомо в'язкість неньютонівських рідин при заданих температурах та тиску не залишається незмінною, а залежить від швидкості деформації та інших факторів, тому залежність напруження зрушення від швидкості зсуву має нелінійний характер (рис. 9). Але слід відзначити, що одна й та ж речовина залежно, наприклад, від концентрації може проявляти різні види течії.

Рівняння Оствальда (ступеневий закон) описує криву наступним чином:  $\tau = kD^n$  при  $n < 1$ . Це рівняння є емпіричним, константа  $k$  залежить від природи речовини й геометричних розмірів апаратури для виконання вимірів, константа  $n$  – це індекс течії.

При  $D = 0$ , відповідно при  $\alpha_0 = 0$  ( $\alpha$  – кут нахилу дотичної до кривої), в'язкість стає нескінченно великою. Але практично знаходять кінцеве значення цієї в'язкості – при  $n = 1$  статичний закон зводиться до виразу Ньютона.

Статичний закон описує в'язкість різних неньютонівських харчових матеріалів: різновидів майонезу; хлібопекарського тіста; конфетних мас; цукрових сиропів; абрикосового пюре; крохмальних суспензій; томатної пасти; мила та деяких інших.

Дисперсні системи при напругах менше граничних поведуть себе як тверді тіла і пружно деформуються при напругах вищих, ніж граничні, стають пластичними, відомі декілька видів пластичної течії.

Додатковими методами дослідження процесів виробництва майонезів та соусів зазвичай визначають:

ДСТУ 2316–93 (ГОСТ 21–94) Цукор-пісок. Технічні умови ДСТУ 2450–94

Оцет спиртовий харчовий натуральний. Технічні умови ДСТУ 3146–95 Кодування

інформації. Штрихове кодування. Маркування об'єктів ідентифікації. Штрихові позначки EAN. Вимоги до побудови ДСТУ 3147–95 Кодування інформації. Штрихове кодування. Маркування об'єктів ідентифікації. Формат та розташування штрихових позначок EAN на тарі та пакованні товарної продукції. Загальні вимоги ДСТУ 3583–97 (ГОСТ 13830–97)

Сіль кухонна. Загальні технічні умови ДСТУ 3976–2000

Крохмаль кукурудзяний сухий. Технічні умови ДСТУ 4492:20051)

Олія соняшникова. Технічні умови ДСТУ 4273–2003

Молоко та вершки сухі. Загальні технічні умови ДСТУ 4286:2004

Крохмаль картопляний. Технічні умови ДСТУ 4391:2005

Какао-порошок. Загальні технічні умови ДСТУ 4560:20062)

Майонези. Правила приймання та методи випробувань ДСТУ 8808–2003

Олія кукурудзяна. Технічні умови. ДСТУ ISO 6465–2003

Кмин цілий (*Cuminum cyminum* Linnaeus). Технічні умови ДСТУ ISO 8294:2004

Жири тваринні і рослинні та олії. Визначання вмісту міді, заліза і нікелю. Метод атомної абсорбції з використанням графітової печі ДСТУ ISO 12193:2004

Жири тваринні і рослинні та олії. Визначання вмісту свинцю методом атомно-абсорбційної спектроскопії з використанням графітової печі ДСТУ EN 1528-1–2002 Продукти харчові жирові. Визначення пестицидів і поліхлорованих біфенілів (ПХБ) ДСТУ EN 12955–2001 Продукти харчові. Визначення афлатоксину В1 та суми афлатоксинів В1, В2, G1 та G2 у зернових культурах, фруктах із твердою шкіркою та похідних від них продуктах. Метод високоефективної рідинної хроматографії за допомогою постколонкової дериватизації та очищення на імунній колонці.

**Висновки та перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного навчання за дисципліною.**

Проаналізовано тенденції розвитку галузі сучасних технологій харчування за прикладом виробництва майонезу:

- створення збагачених емульсійних продуктів зі знизеним вмістом жирової фази;
- зменшення енергетичної цінності продукту;
- заміна в рецептурах майонезів і соусів холестеринової сировини нетрадиційними (бажано рослинного походження) компонентами;
- підвищення біологічної та харчової цінності введенням білкових речовин, вітамінів, фосфоліпідів та інших біологічно цінних речовин;
- запобігання біологічному та окислювальному псуванню за рахунок природних синергетичних

антиоксидантів і консервантів;

- проведення пастеризації з метою підвищення якості та безпеки харчування.

У загальному вигляді перетворення традиційного емульсійного жирового продукту у збагачений схематично представляють як поетапне зміння його складових. Проведені відповідні дослідження з визначення фізико-хімічних, реологічних та органолептичних властивостей, а також їх впливу на якість продукції. Запропоновані інновації щодо поліпшення властивостей різновидів партій сировини та відповідної сучасної продукції, відповідного обладнання, розширення асортименту, підвищення безпекових характеристик, ресурсо- та енергозбереження, проаналізовані різновиди асортименту продукції за різновидами галузей харчування, а також варіанти виробництва лікувально-профілактичного асортименту.

Результати апроксимації експериментальних реологічних кривих показують, що в певному діапазоні швидкостей зсуву може бути підпорядковано декілька реологічних моделей, які за обраним критерієм не поступаються одна одній. В такому разі питання вибору моделі вирішується, враховуючи область застосування моделі, зручності практичного застосування. Але тоді обрану реологічну модель не можна поширювати на інші умови і швидкості деформації. Подальші дослідження спрямовані на вивчення таких питань як розширення методів контролю якості.

Студентам надані можливості доступу до різновидів лекційних та навчально-методичних матеріалів з організації самостійної роботи [16–23]. Новими методами оцінки результатів навчання є, наприклад, комплексні інноваційні проекти ігрового проектування або завдання до рефератів, які стосуються кожного студента та мають алгоритми оцінювання [24, 25, 27, 29–35]. Представлені можливості комплексного інноваційного навчання студентів можуть бути застосовані для різновидів галузей сучасної харчової технології з урахуванням розвитку діяльності громадської організації «Українська асоціація хімічної та харчової інженерії» (представництво на кафедрі ІТПА НТУ «ХПІ») – пошук та наукове обґрунтування раціональних параметрів процесів харчової та хімічної інженерії.

#### Список літератури

1. Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 184 с
2. Бухкало С.І., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., КАПУСТЕНКО П.А., ХАВИН Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 460 с.
3. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О., ОРЛОВА Є.І. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах [текст] підр. К.: ЦНЛ, 2005. 496 с.
4. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О., ОРЛОВА Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах [текст] підручник К.: ЦНЛ, 2008. 600 с.
5. Бухкало С.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А. Технологічне обладнання харчової галузі (н.пос.). Х.: УПА-2009, 185
6. Бухкало С.І., Лазарев М.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А., Рубан Н.П., Новосельцев О.О. Процеси та апарати харчових виробництв (навч. пос). Х.: УПА-2009, 153 с.
7. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ЗИПУННИКОВ М.М., ОЛЬХОВСЬКА О.І. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
8. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах [текст] підр. К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
9. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.
10. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
11. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) / ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ДЕНИСОВА А.Є., ДЕМИДОВ І.М., КАПУСТЕНКО П.О., АРСЕНЬЄВА О.П., БІЛОУС О.В., ОЛЬХОВСЬКА О.І. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2016, 468 с.
12. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
13. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
14. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології переробки плодовоовочевої сировини), 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підр. з грифом. К: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
15. Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 208 с.
16. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
17. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhkalov, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019. 186442. <http://journals.uran.ua/cejte/article/view/186442>.
18. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhkalov, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
19. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: 2014. № 16. С. 3–11.
20. Бухкало С.І. Комплексних інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.

21. Lucile M., Chambaron S., Nicklaus S., Monnery-Patris S. Learned pleasure from eating: An opportunity to promote healthy eating in children? *Appetite*, 2018, Jan.1., V. 120, P. 265–274.
22. Hansen. T, Thomsen T. U. The influence of consumers' interest in healthy eating, definitions of healthy eating, and personal values on perceived dietary quality. *Food Policy*, 2018, Oct. V. 80, P. 55–67.
23. Henry, C. J. Functional foods. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2010, № 64, P. 657–659.
24. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
25. Бухкало С.І., Н. В. Якименко-Терещенко. Приклади комплексного викладання дисциплін – інноваційні ресторани технології, товарознавство та управління закупівлями. Вісник НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (1365), с. 12–23.
26. Бухкало С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 84–93. doi: 10.20998/22204784.2019.21.13
27. Бухкало С.І. Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 7 (1116), с. 103–108.
28. Бухкало С.І. Комплексні інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
29. Бухкало С.І., Ігліс С.П., Кравченко В.О., Копейченко Є.А, Назаренко М.В. Приклади та задачі комплексного викладання дисципліни харчова хімія. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 89–96.
30. Бухкало С.І. Комплексні системи викладання дисципліни основи проектування обладнання хімічних виробництв як співпраця асоціацій EFCE та CFE-UA. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 13–22.
31. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
32. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
33. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ». 2014, № 16, с. 3–11.
34. <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/rynokmajoneza-i-sousov-osobennosti-i-tendencii-v-ukraine.html>.
35. Архіпов В. В., Іванникова Т. В., Архіпова А. В. Ресторанна справа: Асортимент, технологія і управління якістю продукції в сучасному ресторані: Навчальний посібник, К.: Фірма «ІЙКОС», Центр навчальної літератури, 2007, 382 с.
3. Tovazhnjans'kij L.L., Bukhkalov S.I., Kapustenko P.O., Orlova E.I. Zagal'na tehnologija harchovih virobniectv u prikladah i zadachah [tekst] pidr. K.: CNL, 2005. 496 p
4. Tovazhnjans'kij L.L., Bukhkalov S.I., Kapustenko P.O., Orlova E.I. Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah [tekst] pidruchnik K.: CNL, 2008. 600 p.
5. Bukhkalov S.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A. Tehnologichne obladnannja harchovoї galuzi (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 185 p.
6. Bukhkalov S.I., Lazarev M.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A., Ruban N.P, Novosel'cev O.O. Procesi ta aparati harchovih virobniectv (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 153 p.
7. Tovazhnjans'kij L.L., Bukhkalov S.I., Zipunnikov M.M., Ol'hovs'ka O.I. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2013. 352 p.
8. Tovazhnjans'kij L.L., Bukhkalov S.I., Kapustenko P.O. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah, pidr. K. CNL, 2011. 832 p.
9. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2014. 412 p.
10. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
11. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) / Tovazhnjans'kij L.L., Denisova A.E., Demidov I.M., Kapustenko P.O., Arsen'eva O.P., Bilous O.V., Ol'hovs'ka O.I. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoї literaturi»: 2016, 468 p.
12. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoї literaturi»: 2018, 108 p.
13. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii krohmajlu). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. K «Centr uchbovoї literaturi»: 2019, 108 p.
14. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoї sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K.: «CNL»: 2022, 108 p.
15. Bukhkalov S.I., Iglis S.P., Ol'hovs'ka O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. H.:NTU «KhPI». 208 p.
16. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Iglis S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340). – p. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
17. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhkalov, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 66–73. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442>.
18. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhkalov, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaf and calendula extracts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.

#### References (transliterated)

1. Bukhkalov S.I. Tehnologija osnovnih harchovih virobniectv u prikladah i zadachah (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2003. 184 p
2. Bukhkalov S.I., Tovazhnjanskij L. L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevih proizvodstv i jenergosberezenie (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 460 p.

19. Bukhhalo S.I. Udoshkonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.: 2014. № 16. S. 3–11.
20. Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
21. Lucile M., Chambaron S., Nicklaus S., Monnery-Patris S. Learned pleasure from eating: An opportunity to promote healthy eating in children? *Appetite*, 2018, Jan.1., V. 120, P. 265–274.
22. Hansen. T, Thomsen T. U. The influence of consumers' interest in healthy eating, definitions of healthy eating, and personal values on perceived dietary quality. *Food Policy*, 2018, Oct. V. 80, P. 55–67.
23. Henry, C. J. Functional foods. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2010, № 64, P. 657–659.
24. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoï masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galujej. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
25. Bukhhalo S.I., N.V. Jakimenko-Tereshhenko. Prikjadi kompleksnogo vikladannja disciplin – innovacijni restoranni tehnologii, tovaroznavstvo ta upravlinnja zakupivljami. Visnik NTU «KhPI». 2023. № 1(1365), pp. 12–23.
26. Bukhhalo S.I. Mozhlivosti rozvitku tehnologij modifikovanih krohmali. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346). – pp. 84–93. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
27. Bukhhalo S.I. Osnovni skladovi kompleksnih pidpriemstv energetichnogo miks. Visnik NTU «KhPI». 2015. № 7 (1116), pp. 103–108.
28. Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
29. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Kravchenko V.O., Kopejchenko E.A., Nazarenko M.V. Prikjadi ta zadachi kompleksnogo vikladannja disciplini harchova himija. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 89–96.
30. Bukhhalo S.I. Kompleksni sistemi vikladannja disciplini osnovi proektuvannja obladannja himichnih virobniactv jak spivpracja asociacij EFCE ta CFE-UA. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 13–22.
31. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoï masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galujej. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
32. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionne tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17-19 maja 2018. Kh.: Ch. II, h. 201.
33. Bukhhalo S.I. Udoshkonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI». 2014, № 16, s. 3–11.
34. <https://koloro.ua/ua/blog/issledovanija/rynokmajoneza-i-sousov-osobennosti-i-tendencii-v-ukraine.html>.
35. Arhipov V. V., Ivannikova T. V., Arhipova A. V. Restoranna sprava: Asortiment, tehnologija i upravlinnja jakistju produkcii v suchasnomu restorani: Navchal'nij posibnik, K.: Firma «JKOS», Centr navchal'noi literaturi, 2007, 382 p.

*Надійшла (received) 19.09.2024*

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Бухкало Світлана Іванівна (Bukhhalo Svetlana Ivanovna, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Якименко-Терещенко Наталія Василівна (Jakimenko-Tereshchenko Nataliia Vasilivna, Yakyutenko-Tereshchenko Nataliia Vasilivna)** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри туризму і готельно-ресторанного бізнесу, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-2927-7989; e-mail: [jakimenkotereshchenko@gmail.com](mailto:jakimenkotereshchenko@gmail.com)

**S. I. BUKHKALO, N. V. YAKYMENKO-TERESHCHENKO**

**INNOVATIVE COMPLEX PROJECTS AS MODERN TECHNOLOGY FOR THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE «HOTEL AND RESTAURANT BUSINESS» SPECIALTY (ON THE EXAMPLE OF THE DISCIPLINE OF MODERN FOOD TECHNOLOGY)**

In the materials of the article, examples of possibilities for determining the goals of education of university students under the Hotel and Restaurant Management educational program with the aim of developing complex disciplines Modern food technologies for components of complex innovative projects based on situational tasks are considered. When writing the article, the experience of teaching the disciplines General technologies of food production, Food chemistry, Modern food technologies, Merchandising and procurement management, Fundamentals of equipment design at the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" at the Department of Integrated Technologies, Processes and Devices in 2002-2024 was used. Complex systems for determining the components of the discipline determined the competence and quality of the material, and the issues under consideration are overlooked through the prism of one's own creative perception, which makes the material especially valuable. The developments were carried out using modern, highly effective scientifically based technologies for the production of varieties of mayonnaise, for example, from varieties of classification-identification analysis, general concepts and requirements to varieties of methodology for determining quality indicators, their evaluation through the selection of algorithms for analysis and calculations at various stages of production and the application of the obtained products.

**Keywords:** hotel and restaurant business, modern food technologies, commodity science and procurement management, innovative restaurant technologies, science-based methods of teaching students, definition of example models, mayonnaise, situational tasks.

**S. I. BUKHKALO, A. O. AGEICHEVA, O. M. BELYANSKIY, I. V. ROZHENKO,  
A. A. ABAKUMOV**

## **DIDACTIC MATERIALS PERCEPTION ACTIVATING METHODS IN DISTANCE EDUCATION**

The article is devoted to the creation of didactic materials on various educational subjects at various levels of distance education. The relevance of the work is determined both by the object of research, which has not yet been subject to comprehensive scientific coverage, and by the need to establish the parameters of didactic materials used in distance learning. It was determined that the systematic usage of the innovative approaches improves language competence and formats necessary skills. The materials of the article consider examples the possibilities for determining the educational goals of university students for the purpose of developing the discipline Innovative restaurant technologies, Commodity science and procurement management for the development of complex projects. Developments are carried out using modern highly effective science-based technologies of food production, for example, from types of classification-identification analysis, general concepts and requirements to types of methodology for determining quality indicators of the quality level and their evaluation through the selection of calculation algorithms at various stages of production and use of the obtained goods.

**Key words:** distance education, didactic materials, information and communication technologies innovative studies, project-oriented approach, innovative teaching approaches, pedagogy.

### **Introduction.**

The processes of change in society today in general and in the education system in particular, related to the introduction of a new humanistic educational paradigm, put on the agenda the problem of the birth of a new education system, oriented to entering the world information and education space. Meeting the educational needs of a developing society is connected with the need to reorganize the education system of the population. One of these forms of reorganization is distance learning.

The problem of distance education attracts a lot of attention today because:

- on the one hand, the rapid growth of the number of people wishing to study in various educational institutions calls into question the realization of the idea of providing everyone with the opportunity and providing the necessary level of educational services within the framework of traditional forms of education;

- on the other hand, in connection with the need to ensure the material well-being of students in the conditions of real market reality, the number of students who wish to receive education without leaving the main place of practical activity has increased;

- thirdly, the introduction of various innovative technologies in the education system has increased the number of educational institutions providing training in the framework of various non-traditional methods, forms and methods;

- fourthly, distance learning provides an opportunity for any person to study in any educational institution, with any teacher, regardless of his place of residence and the location of the educational institution. The relevance and lack of development of this problem determine the topic of the study.

As a result of various types of training and research according to the developed plans, students and teachers of different departments or even institutes create a complex innovative final product or technology at the level of the educational process, the presence of an experimental and computational part is mandatory.

The introduction into the educational process of the proposed concept of complex design, which is essentially a business game, promotes the development of students' intellectual and organizational abilities, forms the skills of independent, organizational and collective activity, the creativity and personality of the student manager, which in general contributes to the intensive development of scientific and technical creativity of university graduates.

### **Identification of previously unsettled parts of the general problem.**

The practical significance of the research topic is that the implementation of the developed methods of creating didactic materials leads to a significant increase in the quality of distance learning; the proposed methods can be used in the creation of didactic materials for a variety of educational subjects at different levels of education.

### **The main purposes of this paper are:**

Considering ways to activate the perception of information of didactic materials by students with the help of information and communication technologies, it should be noted, first of all, the need to develop a special program of emotional reactions. Solving this problem is impossible without a proper understanding and use of all the expressive means that modern educational technology has. At the same time, it should be noted that it is necessary to use a set of expressive means of educational technology taking into account certain rules due to their specific features as a storage object, grain and grain mass is characterized by thermophysical and mass exchange properties:

- 1) the heat capacity consists of the heat capacities of its component parts - this is the amount of heat needed to heat the grain by 1 °C; the specific heat capacity of the dry grain skeleton is much lower than that of the wet one (1300–1400 J/(kg K)), greater than the heat capacity of air and much less than the heat capacity of water;

- 2) thermal conductivity determines the amount of heat that passes through a unit of material area at

© Bukhkalo S.I., Ageicheva A.O., Belyanskiy O.M.,  
Rozhenko I.V., Abakumov A.A., 2024



a temperature difference of one degree; the thermal conductivity of the grain mass is low, which is due to its organic composition and the presence of air in the intergranular spaces, and the coefficient of thermal conductivity is (0.13 – 0.3 W/(m K)), with an increase in the moisture content of the grain mass to certain limits, the thermal conductivity increases ;

3. thermal conductivity – an indicator of the rate of temperature change, the grain mass is characterized by a low coefficient of thermal conductivity, i.e. it has a large thermal inertia (for grain mass  $7 - 10 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ );

4. thermo-moisture conductivity – the movement of moisture in the grain mass under the influence of a temperature difference (0.4% / °K), at different temperatures the movement of moisture in the grain mass is the result of not only thermo-moisture conduction, but also convection.

In the process of respiration, the dry substance of the grain is lost, the amount of hygroscopic moisture in

the grain increases; the composition of the air in the non-grain space changes and its relative humidity increases, heat is released.

The higher the humidity of the grain, the more intensively the process of respiration takes place in it. Therefore, grain must be stored dry (for wheat and rye 14%). Grain moisture, at which the intensity of respiration increases sharply and free moisture appears, is called critical.

The training components can be defined, for example, as complex design from the "Modern Food Technologies" course taking into account the optimization of resource and energy saving processes. The students chose the approaches to solving the tasks independently, taking into account the results of the analysis of the relevant additional literature according to the plans of the Syllabus and the conducted scientific research. The object of research can be large-tonnage industries of processing raw materials into customer components, taking into account the theoretical foundations and methods of commodity science (Table 1).

Table 1. Classification-identification some components of the analysis of the characteristics of the presented

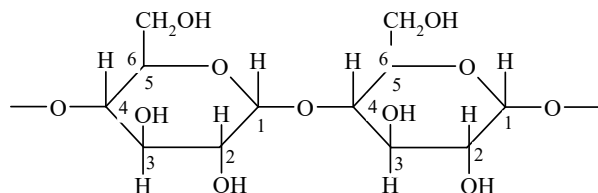
№	Examples of the hierarchy of component general characteristics.
1	Modern classification-identification and general characteristics of the analysis of catering facilities of the hotel and restaurant economy and business according to commodity indicators: analysis of the existing market of hotel and restaurant services; research of a possible contingent of potential consumers; methods of determining the usefulness and consumption value of goods, patterns of assortment formation and quality requirements, ensuring their effective production, circulation and consumption. The object, subject, methods and main categories of the research of commodity characteristics.
2	Classification-identification of general commodity characteristics of raw materials and products: chemical composition of food products. characteristics of the main macro- and micronutrients of food products, their role in the formation of quality, nutritional value and technological properties of products. according to the general characteristics and peculiarities of commodity science, as well as the essence of the purchasing activity of a hotel and restaurant enterprise.
3	Analysis of classification-identification and general merchandising characteristics to determine the assortment according to the technological processes of managing the assortment of goods from the point of view of the balance of interests of all participants of the commodity movement within the hierarchy of the selected commodity categories of the restaurant business.
4	Classification-identification of the formation of consumer properties of the assortment of products in processes and restaurant technologies of varieties of hotel and restaurant production - definition, analysis, characteristics, classification-identification of the theory and concept of modern food technologies of the restaurant business. Research analysis, classification of product assortment according to commodity characteristics, principles of assortment formation and structure of food products and non-food products.
5	Classification-identification of factors influencing the formation of product quality in production processes and technologies - the basis of rational consumption of food products; chemical composition of food products and features of transportation and storage. The main factors affecting the quality of goods, quality control, the grade of goods and the system of establishing the grade of products..

Various raw materials are used in bread baking. It is divided into two groups: main and additional. The main raw materials are what is needed to make dough and bread: flour, water, leavening agents (yeast, sourdough starter), salt. Additional raw materials are introduced into the recipe to improve the nutritional value of bread - milk and dairy products, fats, sugar, molasses, egg products, vitamins, seeds of essential oil plants: cinnamon, vanillin, saffron, etc. A large part of the additional raw materials is introduced into the ripened dough, in which the yeast has developed.

Flour is the main raw material on which the variety and quality of bread depends. Baking properties are determined by its carbohydrate-amylase and protein-proteinase complexes.

The carbohydrate-amylase complex is characterized by the presence of starch and other carbohydrates, the activity of amylolytic enzymes that break down starch.

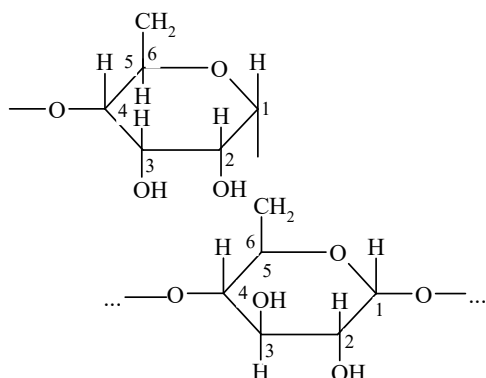
Starch ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )<sub>n</sub> in flour it is in the form of spherical or egg-shaped granules. In order for the dough to turn out to be loose, the starch molecules must be unfolded.



Starch consists of two fractions - amylose (molecular weight 20,000~200,000) and amylopectin (molecular weight 100,000~1,000,000), which differ significantly in their structure.

Amylose consists of glucose residues connected in an unbranched chain. The connection is formed between the first and fourth carbon atoms of neighboring monosaccharides through an oxygen bridge: Amylose contains from 60 to 300 glucose residues. It can dissolve in hot water.

Amylopectin consists of both linear and branched glucose chains. This is achieved by the formation of bonds between the first carbon of one glucose molecule and the sixth carbon of another, or between the first and fourth carbons:



At the same time, a branched starch polysaccharide molecule is formed (Fig. 1). Amylopectin with hot water forms a paste. In addition, flour contains fermentable sugars - mono- and disaccharides.

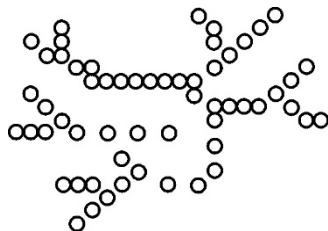


Fig. 1. Starch polysaccharide molecule

Amylolytic enzymes hydrolyze starch. Wheat flour of standardized quality contains the enzyme  $\beta$ -amylase, it is an exoenzyme and breaks down starch into maltose (disaccharide). In addition to  $\beta$ -amylase, there is also  $\alpha$ -amylase in flour that is exposed to adverse factors (germination). The enzyme  $\alpha$ -amylase is an endoenzyme, it acts promiscuously in the middle of the molecule, breaking it into fragments called dextrins.

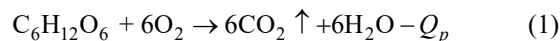
If the flour contains active  $\beta$ -amylase and fermentable sugars, you can expect a high gas-forming capacity, the bread will be loose. If there is no  $\beta$ -amylase in the flour, sugar must be added for fermentation.

The protein-proteinase complex is characterized by gluten (from the French - glutenin), proteolytic enzymes and proteinase activators.

Gluten is a water-insoluble fraction of flour containing simple proteins gliadin and glutenin, they swell in water. The amount of gluten is determined after washing the starch from the dough obtained according to

the specified recipe. However, it is not just the quantity, but the quality of gluten that is important. The evaluation of this quality is carried out according to the criteria for stretchability and blurring of gluten, elasticity, etc. are determined. Gluten creates the spongy-reticulated structural basis of the dough, which largely determines its physical properties.

In the presence of oxygen, the reaction occurs:



This process is called breathing.

In the absence of oxygen, yeast transforms glucose in the following way:



This process is called fermentation, that is, carbohydrates are broken down to form alcohol.

Thus, when baking bread at the beginning of fermentation, when there is oxygen in the dough, the yeast utilizes sugar according to equation (1), after the oxygen is exhausted, the process is implemented according to equation (2). Yeast easily ferments mono- and disaccharides, and polysaccharides, including starch, only after their hydrolysis (the  $\beta$ -amylase enzyme found in flour hydrolyzes starch to form maltose, which is fermented by yeast).

Bakery properties are determined by such important indicators as lifting power and osmosensitivity. Determination of the lifting force can be carried out by an accelerated method - by a ball of dough. The lifting force is characterized by the time the dough balls float. Rising power is the ability of yeast to absorb flour carbohydrates.

Osmosensitivity characterizes the resistance of yeast cells to an increase in osmotic pressure in the environment. To determine it, prepare a dough with a very high salt content. Some recipes contain a lot of fat, sugar and other substances, the dough is heavy and does not rise, because the yeast does not produce carbon dioxide under these conditions.

According to the quality of gluten, flour is of strong, medium and weak strength. If the gluten is bad, then the dough does not rise, because it is not able to retain carbon dioxide.

Proteolytic enzymes are divided into exo- and endoenzymes (aminopeptidases, carbopeptidases); they break down protein. Enzymes act on the area of gluten, weakening its framework. You cannot make bread from weak gluten.

#### The main part.

Let's explain this provision. Having heard, for example, the word "table" in ordinary language, everyone understands that it means an object with a lid and legs, which can be used for various purposes - you can eat dinner, write, etc. However, at the same time, everyone has their own image of the table. Some imagine a square table, others a round or oval one. In some it has

four legs, in others - three. Its color, height, and purpose are also of a different nature. When the table is shown on the screen with the help of information technology, there can be no disagreements. Here, this subject must appear with the entire sum of its characteristic features. If the table is mentioned in didactic materials of technical means working on the principle of feedback, then such specificity can be achieved only by a very detailed description of the object. Not just a "table", but a selection of bright and precise words that conjure up the desired specific image.

On the one hand, the considered peculiarity of the language of technical teaching aids significantly "unburdens" students. They see a specific picture of the phenomenon, see it in dynamics with the entire set of features characteristic of it. Students only need attention and understanding of those cause-and-effect relationships that determine the development of the studied phenomenon. On the other hand, the specificity of the language can cause peculiar difficulties in the creation of didactic materials. In oral speech, many abstract or generalized concepts can be briefly defined in one word.

Using technical means of learning, we are often deprived of this opportunity. It is impossible, for example, to convey through a visual image the essence of such concepts as "universe", "infinity", "good", "gravity", "time", etc. Only the full and comprehensive use of all the possibilities of modern technology can help to generalize and typify the considered private concrete phenomena. The specificity of the language creates another difficulty, which can affect the activity of students' perception of information. Phenomena or objects, as mentioned above, in the didactic materials of technical means are given with the whole set of their characteristic features. Meanwhile, for a better understanding, in most cases, not all, but only some signs and properties of the studied phenomena and objects are important. Others may interfere with understanding the meaning. There is a need to somehow highlight the most important of all signs and properties. Researchers note that these difficulties of the language of technical means can be overcome with the help of a special assembly of didactic material, which makes it possible to build a clear program of emotional reactions of students [1].

In this regard, let's briefly dwell on some mandatory provisions about assembly, as one of the main expressive means of modern educational technology. Let's emphasize the particularly important aspect of montage - it should be the final process of creating didactic materials and technical means, because the entire basis of the program of students' emotional reactions, relatively speaking, should be montage. Confirmation of this thesis can be found if we mention the editing functions. As you know, its first function (dramaturgical) requires from the methodologist the ability to subordinate the structure and content of the demonstrated material to a certain dramaturgical plan, to express the most complete didactic goals through them. At the same time, the results of completed studies [2] indicate that the activity of perception increases significantly if the didactic materials

of technical means lead students to the need to solve the problem with the help of these techniques, include them in the process of solving the topic, and have a so-called heuristic structure. It is these techniques used in the creation of didactic materials and technical tools that can attract students to participation, empathy, and create a positive attitude and position in learning. The significance of this circumstance is obvious [2].

In other words, didactic materials presented with the help of these methods can help expand the possibilities of assimilation of information, form a number of necessary links of mental activity in students. In particular, with their help, you can form observation skills. For this, it is necessary that they contain a motive or an attitude that determines the purpose of the observation, then, highlighting the main thing, ensure the selectivity of the observation, then, finally, interpret the result of the observation. They can provide tasks for independent observations and subsequent conclusions. In addition, didactic materials presented in this way can be useful for the development of creative and imaginative imagination. Separate expressive techniques of technical means are designed for this. They, based on the students' previous knowledge and experience, force them to recreate the whole from individual parts. It should be emphasized that the proximity of the created motive to the content of the solved problem or cognitive task is important. In addition, in order to ensure the sustained interest of students, it is necessary that the problematic situation cannot be presented in any other way, except with the help of selected technical means. The rhythm should affect the flow of thought, the perception of details, the characteristics of the environment, the evaluation of the object and perception. When involving other types of technical means, you should also look for techniques to change the rhythm in accordance with the tasks of activating perception. When creating a program of students' emotional reactions, special attention should be paid to the correct use of various plans and shots of the object under study in didactic materials. In this sense, plans have quite a certain meaning. A close-up should express something private, convey the state of the object, inform about the meaning of the details, reveal an essential feature of the object. It should carry the definition of some quality, characteristic. The general plan should solve other tasks - this is mainly the determination of the place and circumstances of the action. It is designed to give an idea of the sequence of events and the arrangement of objects in space, to characterize the environment and setting of the action [3].

Naturally, it should not follow from these provisions that the general plan is emotionally cold and serves only reference purposes. It should also express the author's attitude to the depicted phenomena. It cannot be considered that one of these plans - general or large - is more necessary for didactic material. In conclusion, we note that creating a program of students' emotional reactions is a difficult process that requires a deep insight into the psychology of students, knowledge of the laws

of perception. Accounting for systems of influence and perception should be the most important and integral component of work related to the creation of didactic materials for distance learning. Therefore, the system of perception and the system of influence should determine the composition of information and the composition of the lesson, because they can help activate the assimilation of educational material by students by directly including them in the process of cognition, co-creation. The developed methods ensured the creation of didactic materials and the opportunity to combine the recommendations of psychologists regarding the organization of the learning process. The well-known didactic ways and conditions for building the educational process, as well as the requirements of the general theory of management, made it possible to conduct distance learning of students [4].

Learning opportunities (didactic opportunities) are usually called provisions expressing the relationship between the objectives of training and the patterns guiding the practice of teaching:

- compliance of the didactic process with the patterns of learning;
- leading role of theoretical knowledge;
- unity of the educational, upbringing and developmental functions of teaching;
- stimulation and motivation of a positive attitude of students to learning;
- combination of collective educational work with an individual approach in teaching;
- combination of abstract thinking with clarity in teaching;
- consciousness, activity and independence of students with the leading role of the teacher;
- systematicity and consistency in teaching; • accessibility;
- strength of mastery of the content of training.

The set of known principles can be divided into three groups: 1. general, including the principles of humanization of training, scientific nature, systematicity, development, systematicity. 2. principles related to the goals and content of training (compliance of the goals and content of training with state educational standards; generalization; historicism; integrity and completeness). 3. principles covering the didactic process and the pedagogical system adequate to it with its elements (correspondence of the didactic process to the laws of learning; the leading role of theoretical knowledge; the unity of the educational, upbringing and developmental functions of teaching; stimulation and motivation of a positive attitude of students to learning; problem-solving; combination of collective educational work with an individual approach to teaching; combination of abstract thinking with clarity in teaching; consciousness, activity and independence of students with the leading role of the teacher; systematicity and consistency in teaching; accessibility; durability of mastery of the content of teaching).

As an additional, separate principle, the principle of correspondence of the educational and scientific material

base to the content of teaching and the didactic system as a whole is formulated. The educational and scientific material base is understood as a material and technical system, including classrooms, technical teaching aids, educational and laboratory equipment, etc. The specified general principles are fully applicable to the distance learning system, but require supplementation and detailing, based on the specifics. Let us now consider the specific principles. The principle of interactivity reflects the regularity of not only student-teacher contacts mediated by information technology, but also between students. The principle of starting knowledge determines the need for an initial level of training of potential consumers of educational services, as well as the appropriate hardware and technical support. Effective training requires a certain set of knowledge, skills, and abilities. For example, for productive training, a candidate for study must be familiar with the scientific foundations of independent study work, have certain computer skills, etc. The principle of individualization. To implement this principle, incoming and current control is carried out in the real educational process. For example, incoming control allows not only to draw up an individual study plan in the future, but also to conduct, if necessary, additional training of the consumer of educational services in order to replenish the missing initial knowledge and skills that allow successful completion of training. Current control allows you to adjust the educational trajectory. The principle of identification. Consists in the need to control the independence of learning - more opportunities are provided for falsification of training than in full-time form. Identification of students is part of general security measures. Control of independence in completing tests, papers and other control activities can be achieved, in addition to face-to-face contact, using various technical means. The principle of regulation of training. It is advisable to introduce a schedule of independent work. There should be strict control and planning, especially for junior students.

The principle of pedagogical expediency of using new information technology tools. The principle is the leading pedagogical principle and requires pedagogical assessment of each step of design, creation and organization. Most educational institutions that begin to implement technologies are characterized by a passion for ICT [5].

This is caused, first of all, by their attractive didactic properties and sometimes leads to fetishization, and as a consequence - to an incorrect preferential orientation towards some means of teaching. The principle of ensuring openness and flexibility of education. The principle of openness is expressed in the "softness" of restrictions on age, initial educational qualification, entrance control measures for the possibility of studying in an educational institution in the form of interviews, exams, testing, etc. An important "indicator of flexibility" is the non-criticality of the educational process of distance education to the distance, the time schedule for the implementation of the

educational process and a specific educational institution. Ideally, the latter requirement is the need to create information remote distributed knowledge networks for distance education, allowing the student to easily adjust or supplement his educational program in the necessary direction in the absence of appropriate services at the university where he studies [6].

The undeniable advantages of distance learning are:

- higher efficiency of professional training compared to evening and correspondence courses at a lower cost of educational services;
- reduction of the terms of study;
- opportunities for parallel study at Russian and foreign universities;
- student independence from the geographical location of the university.

Experiments have confirmed that the quality and structure of courses, as well as the quality of teaching in distance learning are often much better than in traditional forms of education. New electronic technologies can not only ensure active involvement of students in the learning process, but also make it possible to manage this process, unlike most traditional learning environments [7]. In the materials of the article, the peculiarities of the study and determination of commodity characteristics according to the Hotel and Restaurant Management educational program are considered for the purpose of developing complex disciplines Food Chemistry, Modern Food Technologies, Commodity Science and Procurement Management, Innovative Restaurant Technologies, for the components of complex innovative projects.

When writing the article, an analysis of the experience of teaching the above-mentioned disciplines at the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" at the Department of Integrated

Technologies, Processes and Devices in 2002–2024 was used. Complex systems for determining the components of the discipline determined the competence and quality of the material, and the issues under consideration were omitted due to the prism of one's own creative perception, which makes the material especially valuable. The developments were carried out using modern, highly effective, scientifically based technologies for the production of caramel, for example, from types of classification-identification analysis, general concepts and requirements to types of methodology for determining quality indicators and their evaluation through the selection of algorithms for analysis and calculations at various stages of production and application of the obtained goods.

In order to successfully solve the tasks, it is necessary to provide educational and methodological support for all planned control measures - RGZ, control papers, essays, questions for the analysis of independent works, cooperation with students of other institutes and universities in the fulfillment of the main goals of the complex project, etc. New methods of evaluating learning outcomes are, for example, complex innovative game design projects or assignments for essays that apply to each student and have evaluation algorithms.

The presented possibilities of comprehensive innovative training of students can be applied to various branches of modern food technology, taking into account the development of the activities of the public organization "Ukrainian Association of Chemical and Food Engineering" (representative at the department of ITPA of NTU "KhPI") – search and scientific substantiation of rational parameters of food and chemical processes engineering [19–30].

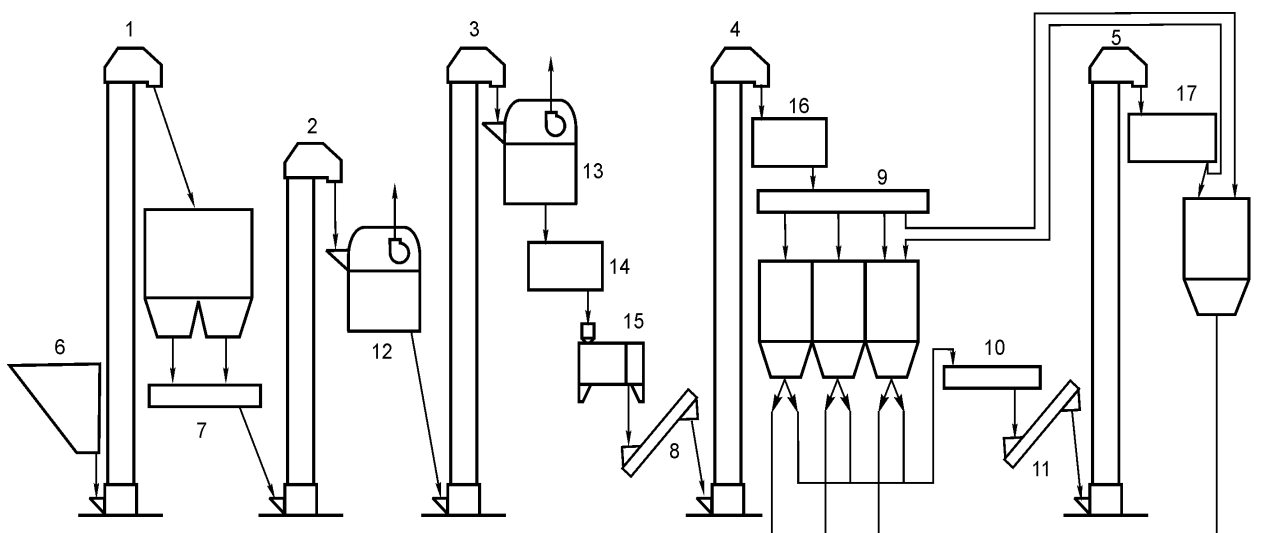


Figure. 2. Technological scheme of the grain cleaning department:

1, 2, 3, 4, 5 – noria; 6 – receiving bunker; 7, 8, 9, 10, 11 – screw conveyor; 12, 13 – separator; 14 – trier; 15 – upholstery machine; 16, 17 – a moisturizing machine.;

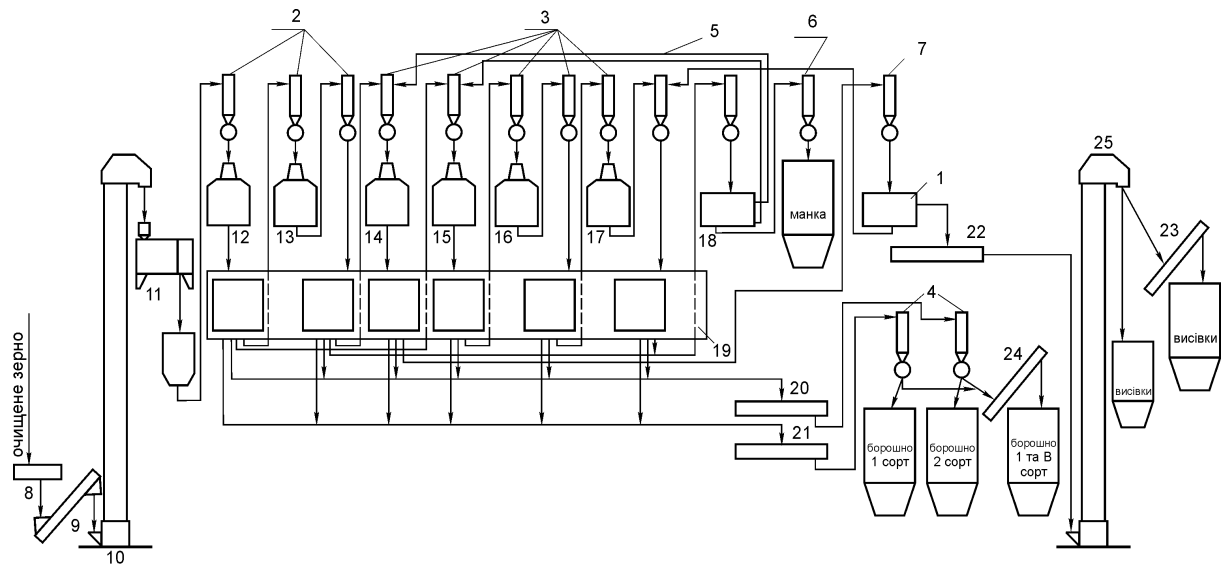


Figure. 2. Technological scheme of the grinding department:

- 1 – grinding machine; 2, 3 – unloader unit; 5, 6, 7 – unloaders; 8, 9, 20, 21, 22, 23, 24 – screw conveyor;  
10, 25 – noria; 11 – upholstery machine; 12, 13, 14 – roller machines of the stripping system;  
15, 16, 17 – roller grinding machines; 18 – sieve winnowing machine; 19 – seeded.

### Conclusions and ideas for further investigation

The integration of sound, movement, image and text creates a new learning environment that is unusually rich in its possibilities, the development of which will also increase the degree of student involvement in the learning process.

The interactive capabilities of the programs and information delivery systems used in the distance learning system make it possible to establish and even stimulate feedback, provide dialogue and ongoing support, which are impossible in most traditional learning systems.

Modern computer telecommunications are capable of providing knowledge transfer and access to various educational information equally, and sometimes much more effectively, than traditional means of teaching. Advantages of distance learning:

- low costs compared to the traditional method of conducting one- or two-week advanced training courses, which require the direct presence of all seminar participants in one place;
- high level of teaching, achievement by students of a deep level of knowledge and skills, which is due to the variation of the duration of teaching the course, active involvement of course participants in discussions and debates, serious and thoughtful work of the students themselves;
- flexibility of the training schedule: students can take training not on strictly defined days and hours, but in any convenient mode, without interruption from work;
- wide audience coverage, no need to gather in a certain place at a certain time, the ability to attract the most highly qualified specialists to work with the course, regardless of what city or country they are in at the moment.

The topics of individual tasks and requirements for their content and design are related to the materials of the current control of individual topics of the lecture material of the discipline: studying the essence of the main chemical processes of production, modern food technologies, categories of commodity science. For example, acquiring knowledge and skills regarding the analysis of the range of goods; acquiring knowledge and skills regarding control and evaluation of the quality and competitiveness of goods, coding and labeling; studying the properties of the most important substances, etc. Students are given opportunities to access a variety of lecture and teaching-methodical materials on the organization of independent work [11–18].

### Список літератури

1. Орлова Є.І., Лещенко В.О., Бухкало С.І. Приклади та задачі до курсу «Загальна технологія харчових виробництв» (н.-м. пос.), Х: НТУ «ХП», 2001. 140 с.
2. Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник). Харків: НТУ «ХП», 2003. 184 с.
3. Бухкало С.І., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение (навч. посібник). Харків: НТУ «ХП», 2005. 460 с.
4. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О., Орлова Є.І. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах [текст] підр. К.: ЦНЛ, 2005. 496 с.
5. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О., Орлова Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах [текст] підручник К.: ЦНЛ, 2008. 600 с.
6. Бухкало С.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А. Технологічне обладнання харчової галузі (навч. пос.). Х.: УПА-2009, 185.

7. Бухкало С.І., Лазарев М.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А., Рубан Н.П., Новосельцев О.О. Процеси та апарати харчових виробництв (навч. пос). Х.: УППА-2009, 153 с.
8. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ЗИПУННИКОВ М.М., ОЛЬХОВСЬКА О.І. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
9. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах [текст] підручник К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
10. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.
11. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
12. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) / ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ДЕНИСОВА А.Є., ДЕМИДОВ І.М., КАПУСТЕНКО П.О., АРСЕНЬЄВА О.П., БІЛОУС О.В., ОЛЬХОВСЬКА О.І. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2016, 468 с.
13. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
14. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
15. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології переробки плодово-ягідної сировини), 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підручник з грифом. К.: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
16. Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХП». 2018. 208 с.
17. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». С. 217.
18. Ольховська В.О., Кравченко О.С., Бухкало С.І. Складові алгоритми пошуку раціональних закономірностей роботи обладнання. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28-30 жовтня Ч. II./за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХП», с. 249.
19. Zipunnikov, Mykola, Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
20. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019. 186442. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442>.
21. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaf and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
22. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХП». Х.: 2014. № 16. С. 3–11.
23. Бухкало С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів. Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП», 2019. – № 21(1346). – С. 84–93. doi: 10.20998/22204784.2019.21.13
24. Бухкало С.І. Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу. Вісник НТУ «ХП». 2015. № 7 (1116), с. 103–108.
25. Бухкало С.І. Комплексні інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
26. Бухкало С.І., Іглін С.П., Кравченко В.О., Копейченко С.А., Назаренко М.В. Приклади та задачі комплексного викладання дисципліни харчова хімія. Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 89–96.
27. Бухкало С.І. Комплексні системи викладання дисципліни основи проєктування обладнання хімічних виробництв як співпраця асоціацій EFCE та CFE-UA. Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 13–22.
28. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
29. Бухкало С.І., Н. В. Якименко-Герещенко. Приклади комплексного викладання дисциплін – інноваційні ресторани технології, товарознавство та управління закупівлями. Вісник НТУ «ХП». 2023. № 1 (1365), с. 12–23.
30. Бухкало С.І. Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу. Вісник НТУ «ХП». 2015. № 7 (1116), с. 103–108.
31. Бухкало С.І. Комплексні інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
32. Бухкало С.І., Іглін С.П., Кравченко В.О., Копейченко С.А., Назаренко М.В. Приклади та задачі комплексного викладання дисципліни харчова хімія. Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 89–96.
33. Бухкало С.І. Комплексні системи викладання дисципліни основи проєктування обладнання хімічних виробництв як співпраця асоціацій EFCE та CFE-UA. Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 13–22.
34. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХП». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
35. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. ХХV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
36. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП». 2014, № 16, с. 3–11.

## References (transliterated)

- Orlova Є.I., Leshhenko V.O., Bukhhalo S.I. Prikhadi ta zadachi do kursu «Zagal'na tehnologija harchovih virobniectv» (navch.-met. posibnik), Kharkiv: NTU «KhPI», 2001. 140 p.
- Bukhhalo S.I. Tehnologija osnovnih harchovih virobniectv u prikladah i zadachah (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2003. 184 p
- Bukhhalo S.I., Tovazhnjanskij L. L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevih proizvodstv i jenergoberezhenie (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 460 p.
- Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O., Orlova Є.I. Zagal'na tehnologija harchovih virobniectv u prikladah i zadachah [tekst] pidr. K.: CNL, 2005. 496 p
- Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O., Orlova Є.I. Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah [tekst] pidruchnik K.: CNL, 2008. 600 p.
- Bukhhalo S.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A. Tehnologichne obladnannja harchovoї galuzi (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 185 p.
- Bukhhalo S.I., Lazarev M.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A., Ruban N.P., Novosel'cev O.O. Procesi ta aparati harchovih virobniectv (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 153 p.
- Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M., Ol'hov's'ka O.I. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2013. 352 p.
- Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah, pidr. K. CNL, 2011. 832 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2014. 412 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) / Tovazhnjanskij L.L., Denisova A.E., Demidov I.M., Kapustenko P.O., Arsen'eva O.P., Bilous O.V., Ol'hov's'ka O.I. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kii'v «Centr uchbovoї literaturi»: 2016, 468 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kii'v «Centr uchbovoї literaturi»: 2018, 108 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii krohmaliu). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. K «Centr uchbovoї literaturi»: 2019, 108 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoї sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K: «CNL»: 2022, 108 p.
- Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov's'ka O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.I. H.:NTU «KhPI». 208 p.
- Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noї tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». 217 p.
- Ol'hov's'ka V.O., Kravchenko O.S., Bukhhalo S.I. Skladovi algoritmu poshuku racional'nih zakonmironostej roboti obladnannja. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVIII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnja Ch. II./za red. prof. Sokola Є.I. – Kh: NTU «KhPI», p. 249.
- Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138–144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258).
- Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019. 186442. http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442).
- Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
- Bukhhalo S.I. Udoslkonaljvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.:, 2014. № 16. S. 3–11.
- Bukhhalo S.I. Mozhlivosti rozvitku tehnologij modifikovanih krohmaliu. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346). – pp. 84–93. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
- Bukhhalo S.I. Osnovni skladovi kompleksnih pidpriemstv energetichnogo miksu. Visnik NTU «KhPI». 2015. № 7 (1116), pp. 103–108.
- Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
- Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Kravchenko V.O., Kopejchenko Є.A., Nazarenko M.V. Prikhadi ta zadachi kompleksnogo vikladannja disciplini harchova himija. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 89–96.
- Bukhhalo S.I. Kompleksni sistemi vikladannja disciplini osnovi proektuvannja obladnannja himichnih virobniectv jak spivpracija asociacij EFCE ta CFE-UA. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 13-22.
- Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoї masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
- Bukhhalo S.I., N.V. Jakimenko-Tereshhenko. Prikhadi kompleksnogo vikladannja disciplin – innovacijni restoranni tehnologii, tovaroznavstvo ta upravlinnja zakupivljami. Visnik NTU «KhPI». 2023. № 1(1365), pp. 12–23.
- Bukhhalo S.I. Osnovni skladovi kompleksnih pidpriemstv energetichnogo miksu. Visnik NTU «KhPI». 2015. № 7 (1116), pp. 103–108.
- Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.



28. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Kravchenko V.O., Kopejchenko Є.A, Nazarenko M.V. Prikladi ta zadachi kompleksnogo vikladannja disciplini harchova himija. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 89–96.
29. Bukhhalo S.I. Kompleksni sistemi vikladannja disciplini osnovi proektuvannja obladannja himichnih virobnictv jak spivpracja asociacij EFCE ta CFE-UA. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 13–22.
30. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoї masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
31. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informativne tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17-19 maja 2018. Kh.: Ch. II, h. 201.
32. Bukhhalo S.I. Udoshkonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «HPI». H.: NTU «HPI». 2014, № 16, s. 3–11.

Надійшла (received) 19.09.2024

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>;

e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Агейчева Анна Олександрівна (Агейчева Анна Александровна, Ageicheva Anna Oleksandrivna)** – кандидат педагогічних наук, доцент, декан факультету філології, психології та педагогіки, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2184-8820>;

e-mail: [ageicheva@ukr.net](mailto:ageicheva@ukr.net)

**Белянський Олександр Миколайович (Белянский Александр Николаевич, Belyanskiy Oleksandr Mykolaivuvch)** – аспірант кафедри загального мовознавства та іноземних мов, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю.Кондратюка»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8546-0660> e-mail: [ageicheva@ukr.net](mailto:ageicheva@ukr.net)

**Роженко Інеса Віталіївна (Роженко Инеса Витальевна, Rozhenko Inesa Vitaliivna)** викладач кафедри іноземних мов з латинською та медичною термінологією Полтавський державний медичний університет, м. Полтава, Україна.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8334-5087> e-mail: [ageicheva@ukr.net](mailto:ageicheva@ukr.net)

**Абакумов Андрій Анатолійович (Абакумов Андрей Анатольевич, Abakumov Andrii Analoliyovych)** – аспірант кафедри загального мовознавства та іноземних мов, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю.Кондратюка»

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5737-6602> [ageicheva@ukr.net](mailto:ageicheva@ukr.net)

**С. І. БУХКАЛО, А. О. АГЕЙЧЕВА, О. М. БЕЛЯНСЬКИЙ, І. В. РОЖЕНКО, А. А. АБАКУМОВ**

**МЕТОДИ АКТИВІЗАЦІЇ СПРИЙМАННЯ ДИДАКТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ  
В ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ**

Стаття присвячена створенню дидактичних матеріалів з різних навчальних предметів на різних рівнях дистанційної освіти. Актуальність роботи зумовлена як об'єктом дослідження, який ще не підлягав комплексному науковому висвітленню, так і необхідністю встановлення параметрів дидактичних матеріалів, що використовуються в дистанційному навчанні. Визначено, що систематичне використання інноваційних підходів покращує мовну компетенцію та формує необхідні навички. У матеріалах статті на прикладах розглянуто можливості визначення освітніх цілей студентів ВНЗ з метою освоєння дисципліни «Інноваційні технології ресторанного господарства», «Товарознавство та управління закупівлями» для розробки комплексних проєктів. Розробки ведуться з використанням сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій виробництва харчових продуктів, наприклад, від видів класифікаційно-ідентифікаційного аналізу, загальних понять і вимог до видів методології визначення показників рівня якості та їх оцінки шляхом вибору алгоритми розрахунку на різних етапах виробництва за технологічною схемою відповідно до нормативно-технічної документації з метою використання отриманої продукції.

**Ключові слова:** дистанційна освіта, дидактичні матеріали, інноваційні дослідження інформаційно-комунікаційних технологій, проєктно-орієнтований підхід, інноваційні підходи до навчання, педагогіка.

**В. А. БОЙКО, В. М. САВИК, С. І. БУХКАЛО, О. О. АГЕЙЧЕВА,**

## **ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ СИНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ХІМІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ЗА МОДЕЛЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ**

У матеріалах статті розглянуті приклади розрахунків та вибору технологічного комплексу для буріння свердловини глибиною 5650 м, проаналізований комплекс механізації і часткової автоматизації спуско-підйомних операцій при бурінні свердловин, встановлені переваги таких систем порівняно з установками, які не оснащені комплексом механізмів АСП. Проведено обґрунтування доцільності та економічної ефективності введення запропонованих технічних рішень з розробки пристрою для обмеження ходу талевого блоку бурової установки, запропоновані його принципова та електрична схеми, обґрунтовано технічну доцільність, розрахований економічний ефект від впровадження розробленої конструкції пристрою для обмеження ходу талевого блоку. Представлені складові розробленої методики розрахунку енергетичних витрат і витрат машинного часу при СПО підйомними комплексами, здійснено оцінку досконалості підйомних комплексів бурових установок з різним приводом за витратами машинного часу підйому бурильної колони за цикл буріння свердловини, оцінку досконалості підйомних комплексів бурових установок з різним приводом за енерговитратами на підйом бурильної колони за цикл проводки свердловини.

**Ключові слова:** технологічний комплекс буріння, розрахунки та технічні рішення, технічна доцільність, методи, дослідження.

### **Вступ.**

Однією з найбільш важливих проблем в створенні ефективного і продуктивного бурового обладнання, є кваліфікована оцінка рівня якості існуючих і спроектованих бурових установок. Існуючі методики оцінки якості бурових установок базуються на експертні методи і не включають в себе оцінку та аналіз компоновально-кінематичної досконалості, енергонасиченості і раціональності використання потужності приводу, визначення продуктивності спуско-підйомного комплексу бурових установок (енерговитрат і витрат машинного часу при спуско-підйомних операціях) і ресурсу несучих елементів бурового обладнання. Відсутні також методи оцінки багатьох ергономічних факторів і трудовитрат членів бурової бригади в процесі експлуатації бурової установки і впливу на них різних засобів механізації.

Представлена робота виконана за комплексною темою «Підвищення надійності спуско-підйомного комплексу бурової установки» присвячена вирішенню одного із актуальних наукових завдань сучасної нафтогазової інженерії та технології – створенню наукового підґрунтя класифікації-ідентифікації інноваційного дослідження з метою підвищення надійності спуско-підйомного комплексу бурової установки.

**Мета роботи.** Удосконалення розрахункового методу оцінки продуктивності спуско-підйомного комплексу бурових установок.

**Можливі результати, які очікуються при виконанні роботи.** Завдяки запропонованому конструктивному рішенню забезпечується запобігання зіткненню талевого блоку з нерухомим кронблоком при роботі лебідки на нижчій і вищій передачах і зіткнення талевого блоку з столом ротора при допустимій і аварійній швидкостях спуску. Усуненню виявлених недоліків та розробці розрахункових методів оцінки якості спуско-підйомного комплексу бурових установок присвячена магістерська робота.

У результаті літературного огляду проаналізовано важливі фактори ієрархії впливу на технологічний комплекс для буріння свердловини глибиною 5650 м, проаналізований комплекс механізмів для механізації і часткової автоматизації спуско-підйомних алгоритмів операцій при бурінні свердловин, встановлені переваги таких систем порівняно з установками, які не оснащені комплексом механізмів АСП.

На основі аналізу комплексу механізмів для механізації і часткової автоматизації спуско-підйомних операцій при бурінні свердловин АСП-3М4 встановлені переваги таких систем порівняно з установками, які не оснащені комплексом механізмів АСП-3М4. Однак необхідно відмітити, що в процесі експлуатації не забезпечується надійність та безпека праці при підйомі й спуску талевого блоку на нижчій і найвищій передачах бурової лебідки.

Для аналізу можливостей оцінки якості бурових установок досліджені експертні методи оцінки компоновально-кінематичної досконалості, енергонасиченості і раціональності використання потужності приводу, визначення продуктивності спуско-підйомного комплексу бурових установок (енерговитрат і витрат машинного часу при спуско-підйомних операціях) і ресурсу несучих елементів бурового обладнання [1–5].

Для вирішення задач, поставлених у роботі, необхідно теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити доцільність розробки технології, наприклад, вперше одержати нові наукові дані щодо дослідно-конструкторської роботи. Тобто це синергетичне комплексне дослідження з удосконалення розрахункового методу оцінки продуктивності спуско-підйомного комплексу бурових установок; оцінка досконалості підйомних комплексів бурових установок з різним

© Бойко В.А., Савик В.М.,  
Бухкало С.І., Агейчева О.О., 2024

приводом за витратами машинного часу підйому бурильної колони за цикл буріння свердловини та інші важливі синергетичні можливості (табл. 1).

**Постановка комплексу науково-практичного дослідження** означена деякими особливостями рішень, які засновані на експериментальних даних розробки механізмів процесів галузі за послідовністю синергетичної взаємодії.

**1. Аналіз можливостей складових дослідження за ієрархією класифікації-ідентифікації різновидів джерел інформації.**

**Проблемі дослідження** Існуючі методики оцінки якості бурових установок базуються на експертні методи і не включають в себе оцінку компоувально-кінематичної досконалості, енергонасиченості і раціональності використання потужності приводу, визначення продуктивності спуско-підйомного комплексу бурових установок (енерговитрат і витрат машинного часу при спуско-підйомних операціях) і ресурсу несучих елементів бурового обладнання. Відсутні також методи оцінки багатьох ергономічних факторів і трудовитрат членів бурової бригади в процесі експлуатації бурової установки і впливу на них різних засобів механізації.

**2. Приклади з визначення ієрархії дослідно-конструкторської роботи.**

2.1. Удосконалення розрахункового методу оцінки продуктивності спуско-підйомного комплексу бурових установок.

2.2 Оцінка досконалості підйомних комплексів бурових установок з різним приводом за витратами машинного часу підйому бурильної колони за цикл буріння свердловини

**3. Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання.** Розмір доліт для буріння в різних інтервалах вибирають залежно від діаметра труб, якими обсаджена свердловина згідно з геолого-технічним нарядом (табл. 2).

Таблиця 2 – Рекомендовані відношення діаметрів доліт і обсадних труб

Діаметр долота, мм	495,3	392,7	295,3	295,3	215,9
Діаметр обсадної колони, мм	426	324	245	194	168

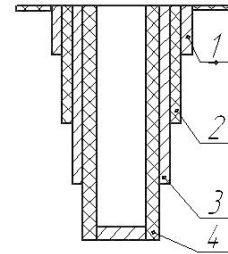


Рис.1 – Конструкція свердловини:  
1 – кондуктор; 2 – перша проміжна колона; 3 – друга проміжна колона; 4 – експлуатаційна колона.

Обґрунтування конструкції свердловини глибиною 5650 м (рис. 2).

Кондуктор  $d = 426$  мм спускається на глибину 230 м з метою перекриття верхніх нестійких порід, які схильні до обвалів і поглинань. Колона цементується по всій довжині.

Проміжна колона  $d = 324$  мм спускається на глибину 1750 м для перекривання крейдових і юрських відкладів. Цементується колона по всій довжині.

Проміжна колона  $d = 245$  мм спускається на глибину 4000 м за допомогою двох секцій: стиковка на глибині 1600 м з метою перекриття карбонатних порід, для усунення їх обсіпань і обвалів. Цементується колона по всій довжині.

Експлуатаційна колона  $d = 168/146$  мм спускається до глибини 5650 м за допомогою двох секцій: стиковка на глибині 3500 м, перехід на глибині 2300 м. Цементується по всій довжині.

Таблиця 1 – Вибір загальних характеристик ієрархії наукового обґрунтування складових видобутку

№	Класифікація-ідентифікація стадій дослідження за темою
1	Експериментально-практичні засади вибору технологічного обладнання: розрахунок та вибір основного технологічного обладнання; призначення та комплектність обладнання; опис технічної пропозиції та модернізованої конструкції безпечної діяльності..
2	Сутність дослідно-конструкторської роботи з удосконалення розрахункового методу оцінки продуктивності спуско-підйомного комплексу бурових установок; оцінки досконалості підйомних комплексів бурових установок з різним приводом за витратами машинного часу підйому бурильної колони за цикл буріння свердловини
3	Інтегрована безпечна діяльність установки за розрахунками працездатності та вибору складових монтажу і експлуатації інноваційного обладнання
4	Дослідження сучасних успішних практик з визначення організаційно-технічних заходів з монтажу талевої системи як комплексної інтегрованої безпечної діяльності.
5	Сучасний досвід з охорони праці при монтажі та експлуатації обладнання талевої системи бурової установки з метою інтегрованої безпечної діяльності.
6	Визначення вибору означених складових з удосконалення комплексних «інтегрованих» підходів до інноваційного розвитку галузі
7	Висновки за аналізом отриманих результатів, перспективи розвитку за синергетичною безпечною діяльністю.

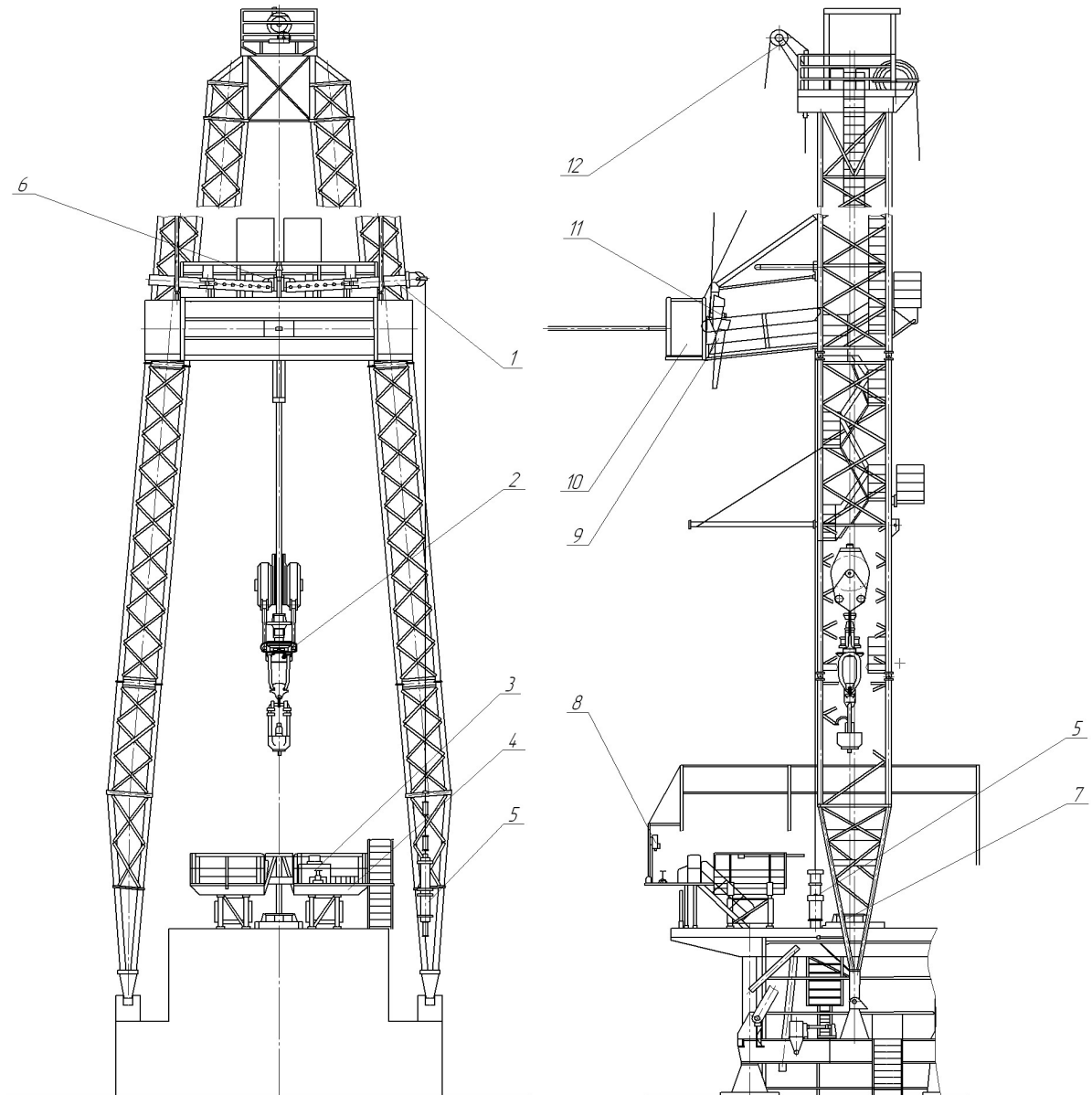


Рис. 2 – Конструкція свердловини:  
1 – кондуктор; 2 – перша проміжна колона; 3 – друга проміжна колона; 4 – експлуатаційна колона.

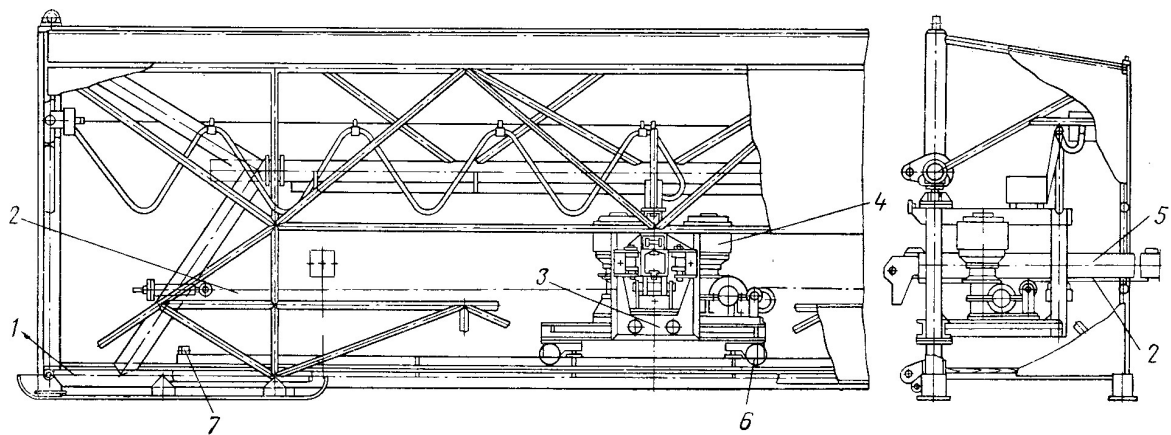


Рис. 3 – Механізм розстановки свічок

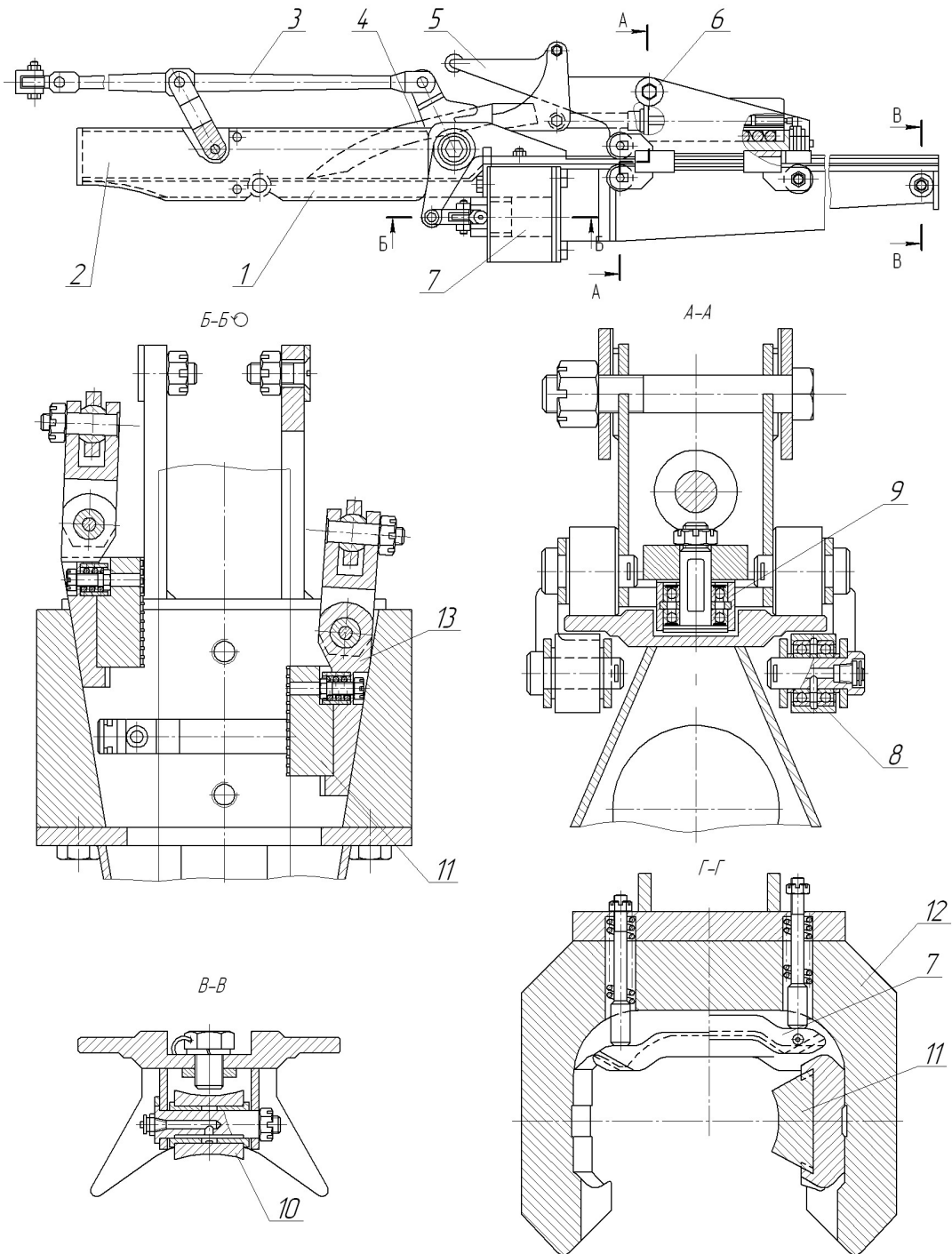


Рис. 4 – Механізми захвату свічок

У склад вибраної бурової установки входить комплекс механізмів АСП-3М4, які призначені для механізації і часткової автоматизації спуско-підйомальних операцій при бурінні свердловин.

Механізм розстановки свічок (МРС) 10 (рис. 2) встановлюється на вежі та призначений для переносу бурової свічки із підсвічника до центру свердловини і назад. МРС (рис. 3) складається з помостів 1, візка 3, стріли 5 та пульта керування. У передній панелі помостів розташовані два швелери: по них рухається візок на блок-роликах 4 і 6. Візок – це зварна рама, на

ньому змонтовані стріла та приводи, які складаються з електродвигуна, черв'ячного редуктора та зірочки, візка і стріли. Зірочки пересувають візок й стрілу, обертаючись по ланцюгах 2. На кінці стріли встановлений механізм захвату свічки. Вихідне положення візка – посередині помостів, навпроти центру свердловини, стріла знаходиться у візку. Під час підйому бурильного інструменту стріла рухається до центру свердловини до того часу, коли МЗС не упреться у відгвинчену свічку і не захопить її. Після захвату свічки стріла втягується до вихідного

положення. Далі візок рухається до секції магазину; стріла заводиться свічку в магазин і на підсвічник.

Механізм захвату свічки 9 (МЗС) призначений для захоплення свічки та відкривання кулачків центратора. Закріплюється до скоби стріли МРС. Захоплення свічки здійснюється автоматично за гладку частину бурильної труби губками під час підняття рухомої частини захвату пневмоциліндром. Звільнення свічки виконується автоматично. МЗС (рис. 1.4), складається з нерухомої направляючої частини 1 і рухомої частини 5, що переміщується в нерухомій. В нерухомій частині встановлюються ролики 8 для переміщення та утримання рухомої частини. Корпус рухомої частини має направляючу планку для переміщення по роликах нерухомої частини. Для розкривання кулачків центратора використовується клинова голівка 2.

У скобі 7 переміщуються клини 13 зі змінними губками 11. Для направлення труби встановлені ролики 10. Для приведення в рух механізму використовується тяга 3, до якої кріпиться підйомний канат МПС.

#### 1. Визначення діаметра долота

Діаметр долота при бурінні під кожну обсадну колону визначаємо за формулою:

$$D_{\text{дол}} = D_{\text{м}} + \Delta; \quad (1)$$

де  $D_{\text{м}}$  – зовнішній діаметр муфти колони обсадних труб [6];

$\Delta$  – величина зазору між муфтою і стінками свердловини [65].

$$D_{\text{дол}} = D_{\text{м}} + \Delta = 451 + 45 = 496 \text{ мм};$$

приймаємо під кондуктор 490 мм;

$$D_{\text{дол}} = D_{\text{м}} + \Delta = 361 + 35 = 386 \text{ мм};$$

приймаємо під проміжну колону 1 394 мм

$$D_{\text{дол}} = D_{\text{м}} + \Delta = 270 + 35 = 295 \text{ мм};$$

приймаємо під проміжну колону 2 295 мм

$$D_{\text{дол}} = D_{\text{м}} + \Delta = 166 + 10 = 176 \text{ мм}$$

приймаємо під експлуатаційну колону 171 мм

#### 2. Визначення довжини обважнених бурильних труб

Довжину ОБТ при бурінні під кожну обсадну колону визначаємо за формулою:

$$\ell_{\text{ОБТ}} = K \cdot G / q_{\text{ОБТ}} \cdot \left(1 - \frac{j_{\text{б.р.}}}{j_{\text{м}}}\right) \quad (2)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який враховує надлишок ваги колони обважнених бурильних труб над

навантаженням на долото;  $K = 1,25$ ;

$G$  – осьове навантаження на долото [65];

$q_{\text{ОБТ}}$  – вага 1 м.п. обважнених бурильних труб [6];

$j_{\text{б.р.}}$  – питома вага бурового розчину;

приймаємо  $j_{\text{б.р.}} = 1300 \text{ кг/м}^3$ ;

$j_{\text{м}}$  – питома вага матеріалу труб; приймаємо

$j_{\text{м}} = 7850 \text{ кг/м}^3$ ;

3. Визначення довжини бурильного інструменту I-ша секція бурильних труб під експлуатаційну колону складається з  $\phi$  114 мм із товщиною стінки 10 мм групи міцності К. Допустима глибина визначається за формулою:

$$\ell_{\text{дол}} = \frac{Q'_{\text{дол}} - \ell_{\text{ОБТ}} \cdot q_{\text{ОБТ}} (1 - j_{\text{б.р.}} / j_{\text{м}})}{q'_{\text{пр.}} (1 - j_{\text{б.р.}} / j_{\text{м}})} + \ell_{\text{ОБТ.}}, \quad (3)$$

де  $q'_{\text{пр.}}$  – вага бурильної труби [6];

$Q'_{\text{дол}}$  – допустимі розтягувальні навантаження:

$$Q'_{\text{дол}} = Q'_{\text{р.}} / K, \quad (4)$$

#### 4. Призначення та комплектність обладнання

Пересувний центратор 6 (рис. 5) складається з центратора і канатів для направлення руху центратора, які закріплені на підвісці. Талевий блок підходить до центратора, розтрубом входить у його воронку й разом з центратором рухається вгору. Далі колона бурильних труб на пневматичних клинах ротора, а талевий блок із центратором рухається вниз. Свічка відгвинчується, центратор утримує її верхній кінець. Після відгвинчування бурильної свічки МЗС захоплює її і підіймає.

При цьому МЗС входить клином в розріз отвору центратора та вводить кулачки й виходить зі свічкою з центратора.

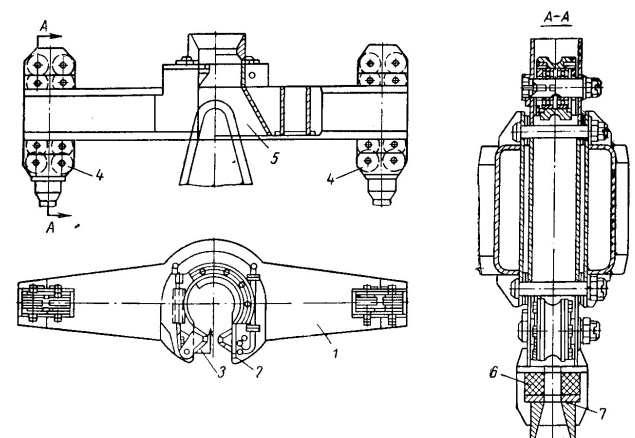


Рис. 5 – Центратор:

1 – корпус; 2, 3 – кулачки; 4 – кронштейн; 5 – воронка; 6 – гумові кільця; 7 – конусні опори

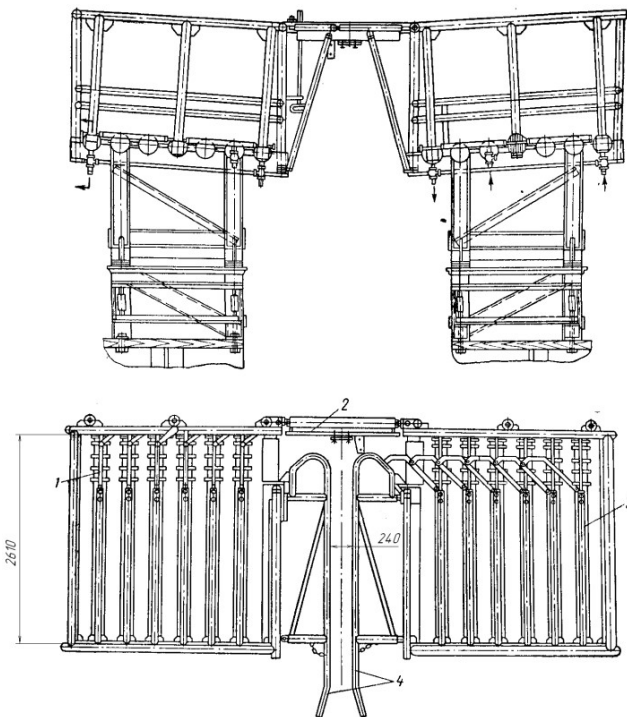


Рис. 6 – Підсвічник

Підсвічник (рис. 6) призначений для встановлення на ньому свічок при підйомі буринного інструменту. Конструкція підсвічника зображена на рис. 1.6. Він складається з двох опор, на кожній з яких змонтований майданчик, які розділені бортами 3 на секції. Кожна секція має дверцята 1, що регулюють почерговість заповнення секцій свічками. Кронштейни 4 направляють рух свічок.

Магазин для свічок використовується для підтримання верхніх кінців свічок. Конструкція магазину зображена на рис. 7. В комплект входять два магазини, які встановлені на вежі зліва і справа відносно свердловини, у вигляді гребінки з труб.

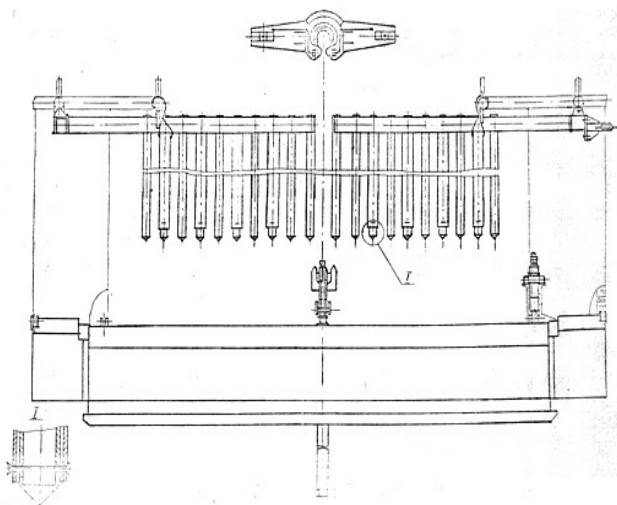


Рис. 7 – Магазин для свічок

Механізм змащування свічок складається із змащувальної камери 1, бачка 2 для мастила, двох форсунок 5 для розпилювання мастила, дозатора 12, пневмоциліндра 6 для переміщення камери і пульта керування.

Кількість мастила, що впорскується в камеру, регулюється болтом 13. У дозатора є зливна пробка 5, через яку зливається мастило при ремонті. Змащувальна камера піднімається до упору амортизатора 4 в ніпель замка свічки за допомогою пневматичного циліндра 6. Положення камери фіксується пальцем 8 в отворах кронштейна 7.

Механізм підйому свічок (МПС) складається з пневматичних циліндрів 1 подвійної дії, піднімального 2 та регульовального 5 канату, допоміжного циліндра 4, повітропроводів 5 і пульта управління 8. Піднімальний канат кріпиться до штока пневмоциліндрів, а другим кінцем до МЗС. Під час руху поршнів МЗС спускається або піднімається, а два пневмоциліндра МПС блокуються на випадок обриву пневматичних шлангів.

#### 5. Експериментально-практичні засади вибору технології та визначення складових – опис модернізованої конструкції.

Мета модернізації пристрою для обмеження ходу талевого блоку – підвищення надійності і безпеки праці при підйомі й спуску талевого блоку на нижчій і вищій передачах бурової лебідки.

Модернізований пристрій для обмеження ходу талевого блоку бурової установки (рис. 8) містить датчик 1 обмеження підйому талевого блоку 2 на нижчій передачі лебідки 3, датчик 4 обмеження підйому талевого блоку 2 вищої передачі лебідки 3, датчик 5 обмеження спуску талевого блоку 2 на нижчій передачі лебідки 3, датчик 6 обмеження спуску талевого блоку 2 на вищій передачі лебідки 3, додатковий датчик 7 обмеження спуску талевого блоку 2, який забезпечує можливість гальмування до швидкості безаварійної посадки талевого блоку на стіл ротора, датчик 8 швидкості спуску талевого блоку 2, датчик 9 нижчої передачі і датчик 10 вищої передачі бурової лебідки 3.

Датчики 1 і 4 встановлені у верхній частині бурової вишки 11 на різних відстанях від нерухомого блоку 12, які залежать від інерційного підйому талевого блоку 2 при гальмуванні. Датчик 1 встановлений ближче до нерухомого блоку 12, ніж датчик 4.

Датчики 5-7 встановлені в нижній частині бурової вишки 11 на різних відстанях від стола ротора, що залежать від інерційного спуску талевого блоку 2 при гальмуванні на різних швидкостях спуску.

Датчик 5 встановлений ближче до стола ротора, ніж датчик 6, а датчик 6 ближче, ніж датчик 7. Датчики 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 і 10 підключені до блоку 13 управління приводом бурової лебідки 3 і гальмом 14, з яким з'єднаний оповіслювач 15.

При цьому датчики 2 і 4 включені паралельно відповідно з датчиками 5 і 6 і з'єднані з відповідними датчиками 9 і 10 нижчої і вищої передач лебідки 3, а датчик 8 з'єднаний з блоком 13 управління через додатковий датчик 7 обмеження швидкості спуску талевого блоку 2.

У блоці 13 керування встановлені реле 16 управління і кнопка 17 зняття блокування. Один вивід обмотки реле 16 з'єднаний з одним виводом розмикаючого контакту 18 кнопки 17, другий вивід якого з'єднаний з об'єднаними одними виводами замикаючих контактів 19-23 відповідно датчиків 1, 5, 4, 6 і 7 і першого замикаючого контакту 24 реле 16. Другі виводи замикаючих контактів 19 і 20 датчиків 1 і 5 з'єднані з одним виводом замикаючого контакту 25 датчика 9, другі виводи замикаючих контактів 21 і 22 датчиків 4 і 6 з'єднані з одним виводом замикаючого контакту 26 датчика 10, а другий замикаючий контакт 23 датчика 7 з'єднаний з одним виводом замикаючого контакту 27 датчика 8.

Один вивід другого замикаючого контакту 28 реле 16 з'єднаний з одним виводом оповіщувача 15, виводи третього замикаючого контакту 29 включені в ланцюг управління гальмом, а виводи розмикаючого контакту 30 реле 16 включені в ланцюг управління приводом бурової лебідки 3. Другі виводи обмотки реле 16 і оповіщувача 15 об'єднані і служать для підключення до джерела живлення. Другі виводи замикаючих контактів 25, 26, 27, 24, 28 датчиків 9, 10, 8 і реле 16 об'єднані й служать для підключення до іншого джерела живлення.

Модернізований пристрій для обмеження ходу талевого блоку бурової установки працює наступним чином.

При подачі напруги на схему блока 13 управління реле 16 не включається, так як в його ланцюгу контакти 19, 20, 21, 22, 23 і 27 датчиків 1, 5, 4, 6, 7 і 8 знаходяться в розімкнутому стані. Отже, замкнутий контакт 30 реле 16, який включений в ланцюг управління приводом лебідки 3, дозволяє включити бурову лебідку.

Для проведення підйомних операцій лебідку 3 включають на підйом талевого блоку 2. При підйомі талевого блоку 2 на нижчій передачі лебідки 3 замикається контакт 25 датчика 9, підготовлюючи до включення реле 16.

При досягненні талевим блоком 2 граничної висоти підйому, відповідної вищій передачі лебідки 3, замикається контакт 19 датчика 1. Включається реле 16, яке розмикає контакт 30 і замикає контакти 24, 28 і 29. При цьому реле 16 самоблокується, розривається ланцюг управління приводом лебідки 3 і він відключається, включається гальмо 14 і оповіщувач 15, який сигналізує про досягнення талевим блоком 2 граничної висоти підйому.

За рахунок відключення лебідки 3 і дії гальма 14 талевий блок 2 зупиняється.

У разі, якщо підйом талевого блоку 2 проводиться на вищій передачі лебідки 3, то

замикається контакт 6 датчика 10, підготовлюючи до включення реле 16.

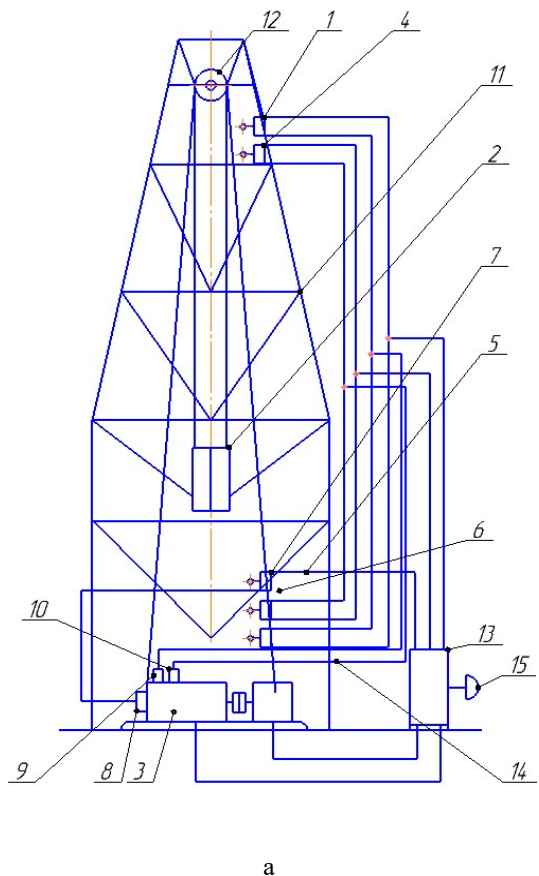
Після досягнення талевим блоком 2 граничної висоти підйому, відповідної вищій передачі лебідки 3, замикається контакт 21 датчика 4. Включається реле 16. Далі пристрій працює так, як і при підйомі талевого блоку 2 на нижчій передачі лебідки 3.

Для спуску талевого блоку 2 необхідно натиснути на кнопку 17 і включити лебідку 3 на спуск талевого блоку 2. При цьому розмикається контакт 18 кнопки 17, відключається реле 16, яке розмикає свої контакти 24, 28, 29 і замикає свій контакт 30.

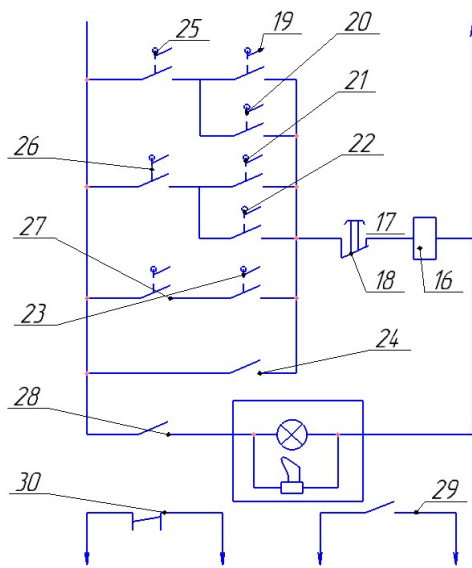
Якщо спуск талевого блоку 2 проводиться на нижчій передачі лебідки 3, тобто при замкнутому контакті 25 датчика 9, то після проходження талевим блоком 2 положення контрольного датчиком 1, відпускають кнопку 17.

У випадку спуску талевого блоку 2 на вищій передачі лебідки 3, тобто при замкнутому контакті 26 датчика 10, кнопку 17 відпускають після проходження талевим блоком 2 положення, яке контролюється датчиком 4. Контакт 18 кнопки 7 замикається, готуючи реле 16 до включення.

При досягненні талевим блоком 2 нижньої границі спуску, відповідній швидкості спуску на нижчій або вищій передачі лебідки 3, замикається або контакт 20 датчика 5 або контакт 22 датчика 6. Включається реле 16.







б

Рис.8 – Модернізований пристрій для обмеження ходу талевого блоку бурової установки:

а – принципова схема пристрою для обмеження ходу талевого блоку і бурова вишка;

б – електрична схема пристрою:

1, 4 – датчики обмеження підйому талевого блоку;

2 – талевий блок; 3 – бурова лебідка;

5, 6, 7 – датчики обмеження спуску талевого блоку;

8 – датчик швидкості спуску талевого блоку;

9, 10 – датчики нижчої і вищої передачі бурової лебідки;

11 – бурова вишка;

12 – кронблок;

13 – блок управління;

14 – гальмо бурової лебідки;

15 – оповіщувач;

16 – реле; 17 – кнопка;

18, 30 – розмикаючі контакти;

19–29 – замикаючі контакти

Далі робота схеми аналогічна роботі при підйомі талевого блоку 2. Включений оповіщувач сигналізує про досягнення талевим блоком нижньої межі спуску.

У разі, якщо швидкість спуску талевого блоку 2 перевищить допустиму (наприклад, при аварійному відключенні приводу лебідки), замкнеться контакт 27 датчика 8 швидкості, готуючи реле 16 до включення. Після досягнення талевим блоком положення, яке контролюється датчиком 7, замкнеться контакт 23 датчика 7. Включається реле 16.

Далі пристрій працює так само, як і при спуску талевого блоку з допустимою швидкістю.

Для повторного підйому талевого блоку необхідно натиснути кнопку 17 і включити привод бурової лебідки на підйом талевого блоку.

На технологічному рівні вирішуються питання пов'язані з організацією технологічних зв'язків в рамках підприємства, що дозволяє знизити собівартість, ліквідувати проблемні задачі процесів та обладнання, в кінцевому випадку є основою відтворення внутрішніх резервів.

**Висновки та перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного дослідження.**

Проведений розрахунок та вибраний технологічний комплекс для буріння свердловини глибиною 5650 м можуть бути застосовані при модернізації карбонатних колекторів. На основі аналізу комплексу механізмів для механізації і часткової автоматизації спуско-підйомних операцій при бурінні свердловин АСП-3М4 встановлені переваги таких систем порівняно з установками, які не оснащені комплексом механізмів АСП-3М4. Однак необхідно відмітити, що в процесі експлуатації не забезпечується надійність та безпека праці при підйомі й спуску талевого блоку на нижчій і найвищій передачах бурової лебідки. Усуненню виявлених недоліків та розробці розрахункових методів оцінки якості спуско-підйомного комплексу бурових установок присвячені наступні роботи.

Результати цієї роботи є дуже важливими та необхідними для подальших інноваційних досліджень та аналізу видобутку свердловин. Приклади з аналізу експериментальних моделей дослідження лабораторних випробувань нових кислотних компонентів для карбонатного колектора можуть бути застосовані у навчанні студентів за ОП Хімічна інженерія.

Дослідження операцій, з визначення синергетичних складових технології видобування передбачають використання математичних моделей, їх аналіз та алгоритмічні методи з оптимізації інноваційних систем. Це дозволяє організаціям та підприємствам підвищити ефективність їх роботи, зменшити витрати на одиницю продукції та покращити якість послуг або продукції. Завдяки постійному розвитку комп'ютерних технологій та алгоритмів, методи оптимізації та дослідження операцій продовжують вдосконалюватися, відкриваючи нові можливості для ефективного управління і прийняття рішень. [1–17].

Представлені можливості комплексного інноваційного дослідження можуть бути застосовані для різновидів галузей сучасної інженерії з урахуванням розвитку діяльності громадської організації «Українська асоціація хімічної та харчової інженерії» (представництво на кафедрі ІТПА НТУ «ХП») – пошук та наукове обґрунтування раціональних параметрів процесів хімічної інженерії [18–36].

## Список літератури

- Витрик В.Г., Кондратьева А.В., Селинный М.Ю., Галушка Р.Н. Практика розробки виснажених нафтових родовищ України за допомогою технології направлено буріння (2017). Нафтогазова інженерія. Число 2. 19-26.
- Технологія і техніка буріння / В.С. Войтенко, В.Г. Вітрик, Р.С. Яремійчук, Я.С. Яремійчук // Львів: Центр Європи, 2012.
- Орловський В. М., Білецький В. С., Сіренко В. І. Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «Харківський політехнічний інститут», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. – 312 с.
- Агейчева О.О., Зезекало І.Г., Бухкало С.І. Загальні системи аналізу віддачі пластів свердловин. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 103.
- Зезекало І.Г., Іваницька І.О., Агейчева О.О. Основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесах буріння та експлуатації методом кислотних обробок. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2020. – № 6 (1360). – С. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
- Зезекало І.Г., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Деякі задачі з підвищення віддачі пластів свердловини. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 149.
- Svitlana Bukhhalo. The systems and models for complex polymer solid waste. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХПІ». С. 114.
- Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD2018) 17–19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
- Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyanskyu L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
- Вольченко О.І. Курс лекцій з деталей машин та тестові завдання / О.І. Вольченко, В.С. Ловейкін, Д.Ю. Журавльов, В.Я. Малик – Івано-Франківськ. Прикарпатський університет імені Василя Стефаника, 2011. – 246 с.
- Організація і планування операційної діяльності нафтогазових підприємств: Навч. посіб. / За ред. М. О. Данилюк. – Івано-Франківськ, 2009. – 364 с.
- Лайонс, В., Плісга, Г., Ахмад, Н. (2015). Стандартний довідник з нафтової та газової інженерії. Elsevier.
- Пелипенко О.І., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Інтегровані дослідження з удосконалення обладнання бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 617.
- Бойко В.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Комплексне дослідження інтегрованої безпечної діяльності бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 555.
- Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. дослідження з удосконалення талевої системи бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 598.
- Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження інтегрованого підвищення фонтанної безпеки процесу буріння при освоєнні свердловини Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 594.
- Тацій І.С., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження дії універсального гідравлічного розширювача на різних режимах буріння. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 635.
- Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 184 с
- Бухкало С.І., Товажнянський Л. Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых

- производств и энергосбережение (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 460 с.
20. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О., ОРЛОВА Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах [текст] підручник К.: ЦНЛ, 2008. 600 с.
  21. Бухкало С.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А. Технологічне обладнання харчової галузі (н.пос.). Х.: УПА-2009, 185 с.
  22. Бухкало С.І., Лазарев М.І., Ілюха М.Г., Лазарева Т.А., Рубан Н.П., Новосельцев О.О. Процеси та апарати харчових виробництв (навч. пос.). Х.: УПА-2009, 153 с.
  23. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ЗИПУННИКОВ М.М., ОЛЬХОВСЬКА О.І. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
  24. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.
  25. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, – 2014. – 456 с.
  26. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
  27. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
  28. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології переробки плодоовочевої сировини), 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підр. з грифом. К.: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
  29. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhkalov, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6), 22–26.
  30. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Х.:, 2014. № 16. С. 3–11.
  31. Бухкало С.І. Комплексні інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
  32. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
  33. Бухкало С.І., Якименко-Терещенко Н.В.. Приклади комплексного викладання дисциплін – інноваційні ресторани технології, товарознавство та управління закупівлями. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2023. № 1(1365), 12.
  34. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
  35. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Х.: НТУ «ХПІ». 2014, № 16, с. 3–11.
  36. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Iglina S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks / *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14

#### References (transliterated)

1. Vitrik V.G., Kondrat'eva A.V., Selinnyj M.Ju., Galushka R.N. Praktika rozrobki visnazhenih naftovih rodovishh Ukraïni za dopomogoj tehnologii napravlenogo burinnja (2017). *Naftogazova inzhenerija*. Chislo 2. 19-26.
2. Tehnologija i tehnika burinnja / V.S. Vojtenko, R.S. Jaremijchuk, Ja.S. Jaremijchuk // L'viv: Centr Ėvropi, 2012.
3. Orlovskij V.M., Bilec'kij V.S., Sirenko V.I. Naftogazoviluchennja z vazhкодostupnih i visnazhenih plastiv. Kh: Harkivsk'ij nacional'nij universitet mis'kogo gospodarstva imeni O.M. Beketova, NTU «Kharkivsk'ij politehničnij institut», TOV NTP «Burova tehnika», L'viv, Vidavnictvo «Novij Svit – 2000», 2023. – 312 p.
4. Ageicheva O.O., Zezekalo I.G., Bukhkalov S.I. Zagal'ni sistemi analizu viddachi plastiv sverdlovin. XXIX Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 r.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Ė.I. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 103.
5. Zezekalo I.G., Ivanic'ka I.O., Ageicheva O.O. Osnovni principi vidnovlennja produktivnosti sverdlovin zakol'matovanih u procesah burinnja ta ekspluatacij metodom kislotnih obrobok. *Visnik NTU «KhPI»*. – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – № 6 (1360). – Pp. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
6. Zezekalo I.G., Bukhkalov S.I., Ageicheva O.O. Dejaki zadachi z pidvishhennja viddachi plastiv sverdlovin. XHII Mizhn. nprakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Ė.I. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 149.
7. Svitlana Bukhkalov. The systems and models for complex polymer solid waste. XHII Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika,

- tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 u 5 ch. Ch. II. / red. prof. Sokola Ć.I. NTU «KhPI». 114.
8. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noï vlasnosti zi studentami. XXVI Mezhd. nprakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
  9. Buhkalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
  10. Vol'chenko O.I. Kurs lekcij z detalej mashin ta testovi zavdannja / O.I. Vol'chenko, V.S. Lovejkin, D.Ju. Zhuravl'ov, V.Ja. Malik – Ivano-Frankivs'k. Prikarpats'kij universitet imeni Vasilja Stefanika, 2011. – 246 s.
  11. Organizacija i planuvannja operacijnoï dijalnosti naftogazovih pidpriemstv: Navch. posib. / Za red. M. O. Daniljuk. – Ivano-Frankivs'k, 2009. – 364 p.
  12. Lajons, V., Plisga, G., Ahmad, N. (2015). Standartnij dovidnik z naftovoï ta gazovoï inzhenerii. Elsevier.
  13. Pelipenko O.I., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Integrovani doslidzhennja z udoskonalennja obladnannja burovoï ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Ć.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 617.
  14. Bojko V.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Kompleksne doslidzhennja integrovanoi bezpechnoi dijalnosti burovoï ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Ć.I. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664., 555.
  15. Krat D.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. doslidzhennja z udoskonalennja talevoï sistemi burovoï ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Ć.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 598.
  16. Krat D.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja integrovanogo pidvishhennja fontannoï bezpeki procesu burinnja pri osvoenni sverdlovini Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Ć.I. – Kh: NTU «KhPI». – 1664 p., 594.
  17. Tacij I.S., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja dii universal'nogo gidravlichnogo rozshirjuvacha na riznih rezhimah burinnja. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXHII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Ć.I. – Kh.: NTU «KhPI». P. 635.
  18. Buhkalo S.I. Tehnologija osnovnih harchovih virobniectv u prikladah i zadachah (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2003. 184 p
  19. Buhkalo S.I., Tovazhnyanskij L. L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevih proizvodstv i jenergosberezenie (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 460 p.
  20. Tovazhnyanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.O., Orlova Ć.I. Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah [tekst] pidruchnik K.: CNL, 2008. 600 p.
  21. Buhkalo S.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A. Tehnologichne obladnannja harchovoï galuzi (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 185 p.
  22. Buhkalo S.I., Lazarev M.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A., Ruban N.P., Novosel'cev O.O. Procesi ta aparati harchovih virobniectv (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 153 p.
  23. Tovazhnyanskij L.L., Buhkalo S.I., Zipunnikov M.M., Ol'hov'ska O.I. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2013. 352 p.
  24. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2014. 412 p.
  25. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
  26. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiïv «Centr uchbovoï literaturi»: 2018, 108 p.
  27. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii krohmalju). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. K «Centr uchbovoï literaturi»: 2019, 108 p.
  28. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoï sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K: «CNL»: 2022, 108 p.
  29. Bilous, O., Demidov, I., & Buhkalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26.
  30. Buhkalo S.I. Udoskonaljvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishhiv navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.:, 2014. № 16. Pp. 3–11.

31. Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vkladannja disciplini suchasni tehnologiji harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
32. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoї masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
33. Bukhhalo S.I., N.V. Jakimenko-Tereshhenko. Prikلامي kompleksnogo vkladannja disciplin – innovacijni restoranni tehnologiji, tovaroznavstvo ta upravlinnja zakupivljami. Visnik NTU «KhPI». 2023. № 1(1365), pp. 12–23.
34. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17-19 maja 2018. Kh.: Ch. II, h. 201.
35. Bukhhalo S.I. Udoskonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishhijh navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI». 2014, № 16, pp. 3–11.
36. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks / Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340), pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14

Надійшла (received) 19.07.2024

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Бухкало Світлана Іванівна (Bukhhalo Svetlana Ivanovna, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Савик Василь Миколайович (Savik Vasyl Mykolayovych, Savuk Vasyl Mykolayovych)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0706-0589>; e-mail: [savycvasyl@ukr.net](mailto:savycvasyl@ukr.net)

**Бойко Владислав Анатолійович (Boiko Vladyslav Anatoliyovych, Boyko Vladyslav Anatoliyovych)** – магістрант кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна; e-mail: [savycvasyl@ukr.net](mailto:savycvasyl@ukr.net)

**Агейчева Олександра Олександрівна (Ageicheva Oleksandra Oleksandrivna, Aheicheva Oleksandra Oleksandrivna)** – голова циклової комісії бурових дисциплін Полтавського фахового коледжу нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна.

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0140-9604>; e-mail: [ageicheva@ukr.net](mailto:ageicheva@ukr.net)

**V. A. BOYKO, V. M. SAVYK, S. I. BUKHKALO, O. O. AHEICHEVA**

**DESIGNING EQUIPMENT FOR SYNERGETIC CHEMICAL ENGINEERING PROCESSES ACCORDING TO DRILLING RIG MODERNIZATION RESEARCH MODELS**

In the materials of the article, examples of calculations and selection of a technological complex for drilling a well with a depth of 5650 m are considered, a complex of mechanization and partial automation of lowering and lifting operations during well drilling is analyzed, the advantages of such systems are established compared to installations that are not equipped with a complex of ASP mechanisms. The justification of the feasibility and economic efficiency of the introduction of the proposed technical solutions for the development of a device for limiting the movement of the melting unit of the drilling rig was carried out, its principle and electrical diagrams were proposed, the technical feasibility was substantiated, and the economic effect of the implementation of the developed design of the device for limiting the movement of the melting unit was calculated. The components of the developed methodology for calculating energy costs and machine time costs during SPO by lifting complexes are presented, an assessment of the perfection of lifting complexes of drilling rigs with different drives in terms of machine time costs of lifting a drill string for a well drilling cycle, an assessment of the perfection of lifting complexes of drilling rigs with different drives in terms of energy consumption rise of the drill string during the well drilling cycle. The materials of the article consider examples the calculation and the chosen technological complex for wells drilling with the depth of 5650 m, analyses the complex of mechanisms to mechanise and partially automate lowering-lifting operations while wells drilling and establishes advantages of such systems, comparing to the sets not equipped with the complex of mechanisms ALL.

**Keywords:** technological complex of drilling, calculations and technical solutions, technical feasibility, methods, research.

О. В. ЄФІМОВ, П. В. ЛІФШИЦЬ, В. Л. КАВЕРЦЕВ

## ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕПЛОБІМННОГО ОБЛАДНАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розглянуті питання щодо відмовлення від використання природного газу у технологічному процесі підігріву повітря в повітрянагрівачах доменних печей (кауперах) металургійних підприємств. Запропоновано інноваційне рішення – технологічна схема з застосуванням теплового генератора для підігріву димових газів і удосконалення системи утилізації їх теплоти з метою підвищення температур повітря та газу на вході у повітрянагрівач до 150–200 °С. Результати показали, що її застосування забезпечить підвищення середньої температури підігріву дуття на 60–110 °С без використання природного газу, може збільшуватися тривалість експлуатації теплообмінників не менше ніж на 10 років, а також покращуються техніко-економічні показники доменного процесу. Запропоновані інноваційні рішення дозволять: відмовитися від використання природного газу на повітрянагрівачах; забезпечити економію коксу до 14 кг/т; підвищити середню температуру підігріву дуття на 110 °С; стабільно й довгостроково забезпечити необхідні температури нагрівання повітря. Використання даних технічних рішень дозволить збільшити виробництво чавуну та скоротити витрати природного газу на підвищення температури гарячого дуття. В перспективі аналогічні схеми можливо буде використовувати в системі підготовки палива для мультитопливних котельних агрегатів металургійних підприємств.

**Ключові слова:** використання природного газу, підігрів повітря, повітрянагрівачі доменних печей, металургійне підприємство, технологічна схема, тепловий генератор.

### Вступ

Підвищення енергоефективності доменного виробництва призводить до зниження собівартості виробництва чавуну та підвищення конкурентоспроможності готової металургійної продукції, а також сприяє як безпосередньо, так і опосередковано зменшенню шкідливих викидів в атмосферу. Зазвичай, наприклад, ці питання можна вирішувати завдяки:

- удосконаленню системи підігріву димових газів, що йдуть на повітрянагрівачі доменних печей (кауперів);
- скорочення витрати природного газу на підвищення температури гарячого дуття [1].

### Мета роботи

Метою даної статті є представлення засобів щодо зниження частини використання природного газу та підвищення ефективності процесу підігріву повітря в повітрянагрівачах доменних печей (кауперах) у вигляді принципової схеми з застосуванням теплового генератора для підігріву димових газів і удосконалення системи утилізації їх теплоти, яка дозволяє нагрівати повітря спалення та доменного газу до заданих температур.

### Викладення основного матеріалу

Питанням щодо зменшення, а в подальшому й відмовлення від використання природного газу у технологічному процесі підігріву повітря в повітрянагрівачах доменних печей (кауперах) металургійних підприємств, приділяється велика увага [1 – 7].

Існуючі системи забезпечують підігрів повітря і газового палива, як правило до температур 50 °С та 90 °С за рахунок утилізації теплоти димових газів. Такі значення температур підігріву компонентів горіння свідчать про низьку ефективність роботи системи утилізації теплоти, в тому числі в наслідок незадовільного стану теплообмінників.

Для досягнення максимального значення температури спалювання під куполом повітрянагрівача 1350 °С, використовують суміш доменного газу з природним газом.

Процес нагрівання доменного дуття потребує особливого підходу щодо вирішення проблем від проектування повітрянагрівачів до їх експлуатації. При вдосконаленні режимів спалювання палива необхідно розглядати питання як вивільнення природного газу, так і підвищення стійкості кладки та зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище. Збільшення кампанії повітрянагрівачів призводить не тільки до зменшення інвестицій, але і до економії коксу, оскільки при передчасній зупинці на ремонт одного з 4-х повітрянагрівачів спостерігається зниження температури дуття на 50 °С – 80 °С, що призводить до збільшення питомої витрати коксу на 8 – 10 кг/т.

Відомо, що для забезпечення необхідних температур 1300–1350 °С під куполом повітрянагрівача треба збагачувати доменний газ природним відповідно на 4,0 та 5,37 %, а повітря горіння киснем – до 29,4 та 32,3 %.

Слід зазначити, що при збагаченні повітря горіння киснем зменшується питомий вихід продуктів горіння [1–4].

Для збереження тих же параметрів теплообміну в насадці повітрянагрівачів необхідно підтримувати ті ж загальні витрати димових газів, як при збагаченні доменного газу природним, так і при збагаченні повітря горіння киснем:

$$V_{\text{д}}^{\text{ж}} = V_{\text{д}}^{\text{О}_2} \quad (1)$$

або

$$B_1 \cdot v_{\text{д}}^{\text{ж}} = B_2 \cdot v_{\text{д}}^{\text{О}_2} \quad (2)$$

© Єфімов О.В., Ліфшиць П.В., Каверцев В.Л., 2024

де  $B_1$  та  $B_2$  – витрати доменного газу при збагаченні доменного газу природним та при збагаченні повітря горіння киснем,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $v_{\text{Д}}^{\text{Д}_2}$  та  $v_{\text{Д}}^{\text{O}_2}$  – відповідно питомий вихід продуктів горіння при атмосферного повітря та повітря збагаченого киснем,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Таким чином витрати доменного газу при збагаченні повітря киснем будуть:

$$B_2 = \frac{B_1 \cdot v_{\text{Д}}^{\text{Д}_2}}{v_{\text{Д}}^{\text{O}_2}}$$

Для забезпечення температури дуття  $1150\text{ }^\circ\text{C}$  –  $1250\text{ }^\circ\text{C}$  рівень теплоти згорання доменного газу, як вже зазначалось, є недостатнім, тому його зазвичай збагачують природним газом у кількості, що відповідає  $15 - 20$  млн.  $\text{м}^3$  на рік для доменної печі обсягом  $1513\text{ м}^3$ . У той же час теплота відпрацьованих газів не використовується, що призводить до перевитрати палива.

Відомо, що капітальні витрати на збільшення енергоефективності у  $3 - 4$  рази менші за витрати на виробництво енергоносіїв. Тому заощадження енергоресурсів для України є пріоритетним напрямом, одним із важливих факторів забезпечення конкурентоспроможності продукції на світовому ринку.

Економія енергетичних і матеріальних ресурсів забезпечує як економічний ефект, а й покращує екологічну обстановку промислових зон. Зменшення витрати палива пропорційно знижує викиди шкідливих речовин, споживання кисню і виділення теплоти в навколишнє середовище. При цьому покращується екологічна ситуація у місцях видобутку палива, сировини, а також на вогнетривких заводах [3–7].

Температура дуття, що нагрівається, на виході з повітрянагрівача змінна: на початку періоду охолодження насадки вона максимальна і практично дорівнює температурі продуктів згорання на вході в насадку, а потім зменшується і в кінці нагрівання вона знижується на  $150\text{ }^\circ\text{C} - 200\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для підтримки постійної температури дуття, що надходить до доменну піч, використовують автоматичну систему, в якій застосовують підмішування частини холодного дуття до гарячого. Витрата дуття, що проходить через насадку, змінний і він регулюється за допомогою змішувального клапана, який частина дуття від загальної витрати пропускає, міняючи насадку, і підмішує до гарячого дуття, знижуючи тим самим його температуру до заданого рівня. Датчиком служить термопара, встановлена у повітропроводі гарячого дуття. Такий спосіб регулювання температури гарячого дуття неефективний, оскільки його температура стабілізується на рівні мінімального значення, яке має місце наприкінці дутьового періоду.

За наявності чотирьох повітрянагрівачів у блоці печі для стабілізації температури гарячого дуття можна використовувати попарно-паралельний режим роботи повітрянагрівачів. У цьому випадку на дутті знаходяться два апарати та їх тривалість дуття зміщена на півперіоду. Тому при змішуванні двох більш і менш нагрітих потоків дуття відбувається стабілізація температури загальної витрати дуття.

Забезпечення попарно-паралельного режиму роботи повітрянагрівачів викликає певні труднощі, інколи ж неможливо його здійснити. Це пов'язано з тим, що необхідно спалювати збільшену кількість газу (приблизно в  $1,5$  рази), передбачити заходи, пов'язані зі збільшенням тиску газу та повітря горіння перед пальником (у  $2,0 - 2,5$  рази), встановити клапани для автоматичного регулювання витрати холодного дуття у кожного повітрянагрівача.

Тривалість періоду дуття при послідовному режимі роботи повітрянагрівачів становить

$$T_0 = (n-1) - T_n,$$

а при попарно-паралельному –

$$T_0 = T_n,$$

де  $n$  – кількість повітрянагрівачів в блоці печі;

$T_n$  – тривалість періоду нагрівання.

Повітрянагрівачі опалюють доменним газом, а коли його теплота згорання не забезпечує задану температуру під куполом, то його збагачують природним газом ( $2,5\% - 4,5\%$  об.) або ж підігрівають доменний газ і вентиляторне повітря [3–7].

Підвищення якості та енергоефективності доменного виробництва можна вирішувати завдяки:

- удосконаленню системи підігріву димових газів, що йдуть на повітрянагрівачи доменних печей (кауперів);

- підвищення температури гарячого дуття;

- скорочення витрати природного газу.

Пропонується технологічна схема (рис 1) з застосуванням пальника для підігріву димових газів і удосконалення системи утилізації їх теплоти з метою підвищення температур повітря та газу на вхід у повітропідігрівник (каупер) до температури у діапазоні  $150 - 200\text{ }^\circ\text{C}$ .

На принциповій схемі представлено (рис. 1) застосування теплогенератора 12 для підігріву димових газів і удосконалення системи утилізації їх теплоти, яка дозволяє нагрівати повітря спалення та доменного газу до заданих температур.

Тестувальні випробування такої схеми показали, що її використання забезпечить:

- 1) Підвищення середньої температури підігріву дуття на  $60 - 110\text{ }^\circ\text{C}$  без використання природного газу;

2) Збільшення тривалості експлуатації теплообмінників не менше ніж на 10 років;

3) Покращення техніко-економічних показників доменного процесу.

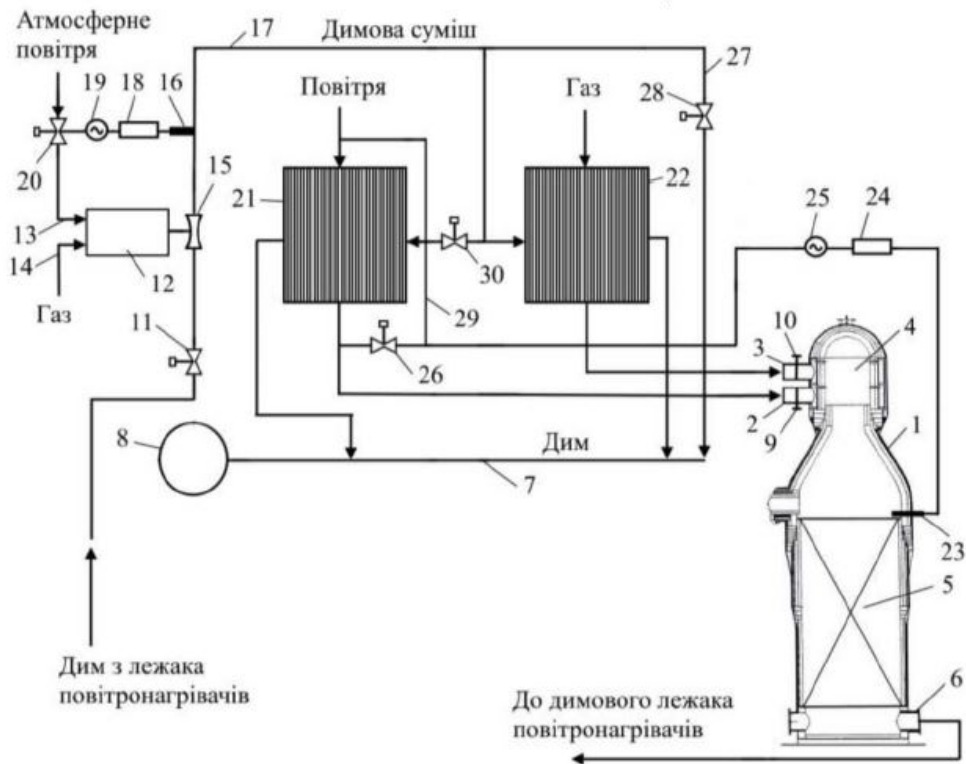


Рис. 1. Принципова схема підігріву димових газів та повітря:

- 1 – повітрянагрівач; 2 – штуцер подачі повітря; 3 – штуцер подачі доменного газу; 4 – форкамера;
- 5 – насадка; 6 – димові штуцери; 7 – димовий лежак; 8 – димар; 9, 10 – відсічні шибери;
- 11 – дросельний клапан; 12 – теплогенератор (підтопка); 13 – штуцер подачі повітря;
- 14 – штуцер подачі доменного газу; 15 – змішувач; 16 – киснемір; 17 – трубопровід димової суміші
- 18 – процесор; 19 – виконуючий механізм; 20 – дросельний клапан; 21 – повітряний теплообмінник;
- 22 – газовий теплообмінник; 23 – термопара; 24 – процесор; 25 – виконуючий механізм;
- 26 – дросельний клапан; 27 – обвідний димопровід; 28 – дросельний клапан;
- 29 – допоміжний повітропровід

Таблиця 1. Техніко-економічні показники роботи технологічної схеми – існуючий стан

Показники	Літо	Зима
Паливо	ПДС	ДГ
Температура підігріву палива, °С	90	90
Температура підігріву повітря, °С	50	50
Температура під куполом повітропідігрівників, °С	1290	1240
Середня температура дуття, °С	1150-1160	1100-1110
Витрати палива на блок повітропідігрівників, м³/год	ДГ-90 000 ПГ-850	ДГ-90 000

Таблиця 2. Техніко-економічні показники роботи технологічної схеми – проектні рішення

Показники	Витрата ДГ на теплогенератор, м³/год		
	2350	5000	8000
Паливо	ДГ	ДГ	ДГ
Температура підігріву палива, °С	150	180	215
Температура підігріву повітря, °С	150	180	215
Температура під куполом повітропідігрівників, °С	1300	1325	1350
Середня температура дуття, °С	1160-1170	1180-1190	1210-1220
Витрати палива на блок повітропідігрівників, м³/год	ДГ-90 000	ДГ-90 000	ДГ-90 000
Температура димових газів на виході з теплогенератора, °С	1209		
Температура димової суміші на вході в теплообмінники, °С	260	290	330
Витрата повітря на теплогенератор, м³/год	1500	3200	5150



Частина доменного газу разом з повітрям надходять у тепловий генератор 12. У ньому утворюються димові гази, які змішуються з димовими газами від лежачка в змішувачі 15. Далі агент, що гріє, йде до споживачів: підігрівачі повітря 21 і доменного газу.

Відпрацьовані димові гази видаляються трубопроводом (дим) через трубу 8 в довкілля. Нагріті в підігрівачах повітря та доменний газ (яка частина в %?) автономними каналами надходять у форкамеру 4 повітропідігрівача 1 і далі, для обігріву насадки 5. Результати тестових випробувань – техніко-економічні показники наведені в табл.1. Випробування проводились при наступних умовах:

Калорійність палива: Суміш природного газу (ПГ) та доменного газу (ПДС) – 826,4 ккал/м<sup>3</sup>; доменного газу (ДГ) – 750,7 ккал/м<sup>3</sup>;

Витрата повітря на блок повітрянагрівачів – 58 тис. м<sup>3</sup>/год;

Температури компонентів спалювання перед теплообмінниками: повітря – 10 °С; палива – 35 °С;

Температури диму: на виході з повітрянагрівачів – 230 °С; перед димарем – 130 °С.

Для реалізації запропонованої схеми, в рамках реконструкції, необхідно виконати наступні кроки:

1) Замінити існуючі повітряний і газовий теплообмінники на більш удосконалену конструкцію, яка дозволяє запобігання утворення низькотемпературної сірчаної кислотної корозії металу;

2) Побудувати теплогенератор (підтопку) з системою спалення додаткового доменного газу та змішувач двох потоків димових газів: від повітрянагрівачів та від теплогенератора.

3) Використати ділянку для розміщення

існуючих теплообмінників, централізовану повітряну станцію, а також комунікаційну систему і регулюючу та запірну арматуру: трубопроводи підведення та відведення димових газів та холодних і нагрітих повітря і доменного газу.

В перспективі аналогічні схеми можливо буде використовувати в системі підготовки палива для мультитопливних котельних агрегатів металургійних підприємств.

**Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку** Запропоновано систему попереднього підігріву доменного газу та повітря спалювання перед пальником доменної, яка включає:

- Інноваційні рішення по удосконаленню існуючого обладнання (теплообмінника та комунікаційної системи)

- Інноваційне рішення по використанню додаткового теплогенератора для підвищення температури димових газів.

Реалізація інноваційних рішень дозволить:

1. Відмовитися від використання природного газу на повітрянагрівачах;

2. Забезпечити економію коксу до 14 кг/т;

3. Підвищити середню температуру підігріву дуття на 110°С

4. Стабільно, довгостроково забезпечити необхідні температури нагрівання повітря спалення та доменного газу;

5. Збільшити термін експлуатації теплообмінників не менше ніж на 10 років.

Також варто виділити, що використання даних технічних рішень дозволить збільшити виробництво чавуну та скоротити витрати природного газу на підвищення температури гарячого дуття.

### Список літератури

1. Єфімов О., Ліфшиць П., Каверцев В. Удосконалення технологічної схеми спалювання газу в теплових установках металургійних підприємств. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, №3. 2024. – С. 21–25.
2. Удосконалення та оптимізація моделей, процесів, конструкцій та режимів роботи енергетичного обладнання АЕС, ТЕС та опалювальних котелень / ред. О. В. Єфімова. Х. : Підручник НТУ «ХП», 2013. – 409 с.
3. Єфімов, О., Каверцев, В., Жидецький, О. Сучасні рішення по реконструкції газовідвідних трактів конвертерів, що працюють на металургійних підприємствах в Україні. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2021. – С. 25–28
4. Грес Л.П. Підвищення енергоефективності нагріву доменного дуття на експлуатованих доменних печах шляхом встановлення системи теплообмінників для нагрівання компонентів горіння та модернізації повітрянагрівачів Л. П. Грес, Е. А. Каракаш, С. А. Карпенко, С. В. Колдомасов // Метал та лиття України. – 2014. № 5–6 (252–253). С. 43–47. – ISSN 2077-1304 (print).
5. Каверцев, В.Л. Огляд проблем ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів в промисловому секторі України та можливі оптимальні шляхи їх вирішення / В. Л. Каверцев, В. О. Дягілев //

Вісник НТУ «ХП». – 2017. – № 10(1232). – С. 92–96. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2017.10.13>.

6. Грес Л. П. Теплообменники доменных печей [Текст] : моногр. / Л. П. Грес, С. А. Карпенко, А. Е. Миленина ; под общ. ред. д.т.н., проф. Л. П. Греса. Дніпропетровськ: Пороги, 2012. – 491 с. – ISBN 978-617-518-207-9.

7. Єфімов О. В. Аналіз двохступеневого спалювання палива в мультитопливних котлах / О. В. Єфімов, В. Л. Каверцев, В. О. Дягілев, Т. А. Гаркуша, Б. Б. Черниш // Вісник НТУ «ХП».. – 2021. – № 1(5). – С. 33–37. – <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2021.01.06>.

### References (transliterated)

1. Efimov O., Lifshic' P., Kavercev V. Udoskonalennja tehnologichnoi shemi spaljuvannja gazu v teplovih ustanovkah metalurgijnih pidpriemstv. Visnik Nacional'nogo tehnicnogo universitetu «KhPI». Serija: Energetichni ta teplotehnicni procesi j ustatkuvannja, №3. 2024. – Pp. 21–25.
2. Udoskonalennja ta optimizacija modelej, procesiv, konstrukcij ta rezhimiv roboti energetichnogo obladnannja AES, TES ta opaljuval'nih kotelen' / Pid. red. O. V. Efimova. – Kharkiv : Pidruchnik NTU «KhPI», 2013. – 409 p.
3. Efimov, O., Kavercev, V., Zhidec'kij, O. (2021). Suchasni rishennja po rekonstrukcii gazovidvidnih traktiv

- конвертерів, шхо працюють на металургійних підприємствах в Україні. *Вісник Національного технічного університету «КхПІ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси і устаткування. 2021. – Пp. 25–28
4. Gres L. P. Pidvishhennja energoefektivnosti nagrivu domennogo duttja na ekspluatovanih domennih pechah shljahom vstanovlennja sistemi teploobminnikiv dlja nagrivannja komponentiv gorinnja ta modernizacii povitronagrivachiv L. P. Gres, E. A. Karakash, S. A. Karpenko, S. V. Koldomasov // *Metal ta litnja Ukraїni*. – 2014. – № 5–6 (252–253). – Pp. 43–47.
  5. Kavercev, V. L. Ogljad problem efektivnogo vikoristannja palivno-energetichnih resursiv v promisl'ovomu sektorі Ukraїni ta mozhlivi optimal'ni shljahi ih virishennja / V. L. Kavercev, V. O. Djagilev // *Вісник NTU «КхПІ»*. – 2017. – №10(1232). Pp. 92–96. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2017.10.13>.
  6. Gres L. P. *Teploobmenniki domennyh pechej* [Tekst] : monogr. / L. P. Gres, S. A. Karpenko, A. E. Milenina ; pod obshh. red. d-ra tehn. nauk, prof. L. P. Gresa. – Dnipropetrovs'k : Porogi, 2012. – 491 p.
  7. Efimov O.V. Analiz dvohstupenevogo spaljuvannja paliva v mul'tipalivnih kotlah / O. V. Efimov, V. L. Kavercev, V. O. Djagi-lev, T. A. Garkusha, B. B. Chernish // *Вісник NTU «КхПІ»*. 2021. №1(5), p. 33–37. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2021.01.06>.

Надійшла (received) 19.07.2024

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Єфімов Олександр В'ячеславович (Yefimov Olexandr)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [AVEfimov22@gmail.com](mailto:AVEfimov22@gmail.com),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3300-7447>.

**Ліфшиць Петро Володимирович (Lifshyts Petro)** – аспірант кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [lifshyts.p@gmail.com](mailto:lifshyts.p@gmail.com),

ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-9042-2513>.

**Кавертцев Валерій Леонідович (Kavertsev Valerii)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [kavertseff@gmail.com](mailto:kavertseff@gmail.com),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9472-1658>.

**O. V. YEFIMOV, P. V. LIFSHYTS P V. L KAVERTSEV**

**INNOVATIVE SOLUTIONS FOR IMPROVING THE EXISTING HEAT EXCHANGE EQUIPMENT OF METALLURGICAL ENTERPRISES**

Considered issues regarding the refusal to use natural gas in the technological process of air heating in air heaters of blast furnaces (coopers) of metallurgical enterprises. An innovative solution is proposed – a technological scheme using a heat generator for heating flue gases and improving the system of their heat utilization in order to increase the temperature of air and gas entering the air heater by 150–200°C. The results of the test trials of the technological scheme, which were carried out under the following conditions, are presented: calorific value of the mixture of natural and blast furnace gas – 826.4 kcal/m<sup>3</sup> (3,459.3104 KJ); calorific value of blast furnace gas – 750.7 kcal/m<sup>3</sup> (3,142.43 KJ); air consumption per unit of air heaters – 58 thousand m<sup>3</sup>/h; temperature of combustion components in front of heat exchangers: air – 10 °C; fuel – 35 °C; smoke temperature: at the exit from the air heaters – 230 °C; in front of the chimney – 130 °C. The results showed that its application will ensure an increase in the average temperature of blast heating by 60–110°C without the use of natural gas, the duration of operation of heat exchangers can be increased by at least 10 years, and the technical and economic indicators of the blast furnace process will also improve. The proposed innovative solutions will allow: to abandon the use of natural gas for air heaters; ensure coke savings up to 14 kg/t; increase the average heating temperature of blowing by 110°C; stable, long-term provision of the necessary air heating temperatures. The use of these technical solutions will allow to increase the production of cast iron and reduce the consumption of natural gas to increase the temperature of hot blasting. In the future, similar schemes may be used in the fuel preparation system for multi-fuel boiler units of metallurgical enterprises.

**Keywords:** use of natural gas, air heating, air heaters of blast furnaces, metallurgical enterprise, technological scheme, heat generator.



**НАЦІОНАЛЬНА РАДА УКРАЇНИ  
З ПИТАНЬ ТЕЛЕБАЧЕННЯ І РАДІОМОВЛЕННЯ**

---

**РІШЕННЯ № 248**

01.02.2024

м. Київ

Протокол № 4

Про заяви НТУ «ХАРКІВСЬКИЙ  
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ», м. Харків,  
щодо реєстрації суб'єкта у сфері друкованих  
медіа

Розглянувши заяви НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ», м. Харків (місцезнаходження: вул. Кирпичова, буд. 2, м. Харків, 61002, адреса електронної пошти: omsroot@kpi.kharkov.ua), про реєстрацію суб'єкта у сфері друкованих медіа, керуючись Законом України «Про медіа», Порядком подання до Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення заяв щодо реєстрації суб'єктів у сфері медіа, затвердженим рішенням Національної ради від 18.05.2023 № 352 (зі змінами), Національна рада

**ВИРШИЛА:**

1. Зареєструвати НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ», м. Харків, суб'єктом у сфері друкованих медіа.

2. Внести до Реєстру суб'єктів у сфері медіа відомості щодо реєстранта НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ», м. Харків, та присвоїти ідентифікатори в Реєстрі, зазначивши:

- суб'єкт у сфері друкованих медіа;
- ідентифікатори медіа – згідно з додатком до рішення;
- адреса, за якою здійснюється редакційний контроль – вул. Кирпичова, буд. 2, м. Харків, 61002;
- кінцевий бенефіціарний власник – відсутній;
- назви друкованих медіа – згідно з додатком до рішення;
- види друкованих медіа – згідно з додатком до рішення;
- періодичність виходу примірників – згідно з додатком до рішення;
- територія розповсюдження примірників – згідно з додатком до рішення;
- спосіб розповсюдження примірників – згідно з додатком до рішення;
- мова (мови) розповсюдження – згідно з додатком до рішення.

3. Управлінню організаційного та документального забезпечення повідомити НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ХАРКІВСЬКИЙ

ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ», м. Харків, шляхом надсилання цього рішення на поштову та електронну адреси.

4. Виконання цього рішення покласти на управління: ліцензування та реєстрації, організаційного та документального забезпечення, фінансово-економічне, юридичне.

5. Контроль за виконанням цього рішення покласти на заступника голови Національної ради О. Черниша.

Голова



/підпис/

Ольга ГЕРАСИМ'ЮК

Відповідальний секретар

/підпис/

Олена НІЦКО

Згідно з оригіналом.

Начальник відділу Вікторія ПОЗНЯК

*ВН 02.02.2024*

## ЗМІСТ

### ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

<i>O. V. YEFIMOV, M. M. PYLYPENKO, V. L. KAVERTSEV, T. A. HARKUSHA, I. D. SYDORKIN, O. V. CHYZHYK</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNICAL, ECONOMIC, WEIGHT, AND SIZE CHARACTERISTICS OF HORIZONTAL AND VERTICAL STEAM GENERATORS FOR 1000 MW NUCLEAR POWER PLANT UNITS .....	3
<i>O. I. ПЕЛИПЕНКО, В. М. САВИК, С. І. БУХКАЛО, О. О. АГЕЙЧЕВА</i> МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ У ПРИКЛАДАХ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИН .....	11
<i>E. A. CHERNUSHENKO, I. R. KOLESNIKOV</i> DETERMINATION OF THE RISKS OF ADVERSE IMPACT ON THE POPULATION OF NITRATES IN PLANT PRODUCTS GROWN IN THE TERRITORY OF THE NORTHERN INGULETSK MINING AND PROCESSING COMPLEX .....	22

### МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

<i>N. V. CHEREMSKA</i> MODELS OF CORRELATION FUNCTIONS OF NONSTATIONARY PROCESSES AND SEQUENCES FOR TECHNOLOGICAL SYSTEMS .....	27
<i>С. П. ІГЛІН</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СУЧАСНИХ СОЦІАЛЬНИХ ВІДНОСИН .....	32

### ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

<i>В. М. КОВАЛЬЧУК, М. Л. ЗЕМЕЛЬКО, С. І. БУХКАЛО</i> ПРИКЛАДИ ДОСПІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ .....	38
<i>С. І. БУХКАЛО, Н. В. ЯКИМЕНКО-ТЕРЕЩЕНКО</i> ІННОВАЦІЙНІ КОМПЛЕКСНІ ПРОЕКТИ ЯК СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННА СПРАВА» (НА ПРИКЛАДІ ДИСЦИПЛІНИ СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧУВАННЯ) .....	49
<i>S. I. BUKHALO, A. O. AGEICHEVA, O. M. BELYANSKIY, I. V. ROZHENKO, A. A. ABAKUMOV</i> DIDACTIC MATERIALS PERCEPTION ACTIVATING METHODS IN DISTANCE EDUCATION ...	61

### ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

<i>В. А. БОЙКО, В. М. САВИК, С. І. БУХКАЛО, О. О. АГЕЙЧЕВА</i> ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ СИНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ХІМІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ЗА МОДЕЛЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ .....	71
<i>О. В. ЄФІМОВ, П. В. ЛІФШИЦЬ, В. Л. КАВЕРЦЕВ</i> ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	83
<b>ІНФОРМАЦІЯ</b> .....	88
<b>ЗМІСТ</b> .....	90

## CONTENT

### INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC DEVELOPMENTS

<i>O. V. YEFIMOV, M. M. PYLYPENKO, V. L. KAVERTSEV, T. A. HARKUSHA, I. D. SYDORKIN, O. V. CHYZHYK</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNICAL, ECONOMIC, WEIGHT, AND SIZE CHARACTERISTICS OF HORIZONTAL AND VERTICAL STEAM GENERATORS FOR 1000 MW NUCLEAR POWER PLANT UNITS .....	3
<i>O. I. PELYPENKO, V. M. SAVYK, S. I. BUKHKALO, O. O. AHEICHEVA</i> MATHEMATICAL MODELS OF THE INTEGRATED RESEARCH OF THE DRILLING RIG IN EXAMPLES OF WELL PRODUCTIVITY RESTORATION .....	11
<i>E. A. CHERNUSHENKO, I. R. KOLESNIKOV</i> DETERMINATION OF THE RISKS OF ADVERSE IMPACT ON THE POPULATION OF NITRATES IN PLANT PRODUCTS GROWN IN THE TERRITORY OF THE NORTHERN INGULETSK MINING AND PROCESSING COMPLEX .....	22

### MODELING AS A TOOL OF INNOVATION

<i>N. V. CHEREMSKA</i> MODELS OF CORRELATION FUNCTIONS OF NONSTATIONARY PROCESSES AND SEQUENCES FOR TECHNOLOGICAL SYSTEMS .....	27
<i>S. P. IGLIN S.</i> RESEARCH AND ANALYSIS OF THE FEATURES OF MATHEMATICAL MODELS OF MODERN SOCIAL RELATIONS .....	32

### ENERGY AND RESOURCE SAVING AS PROBLEMS AND TECHNOLOGIES OF INNOVATIONS

<i>V. M. KOVALCHUK, M. L. ZEMELKO, S. I. BUKHKALO</i> EXAMPLES OF DISSECTION OF FUNCTIONAL MEAT PRODUCTS FOR COMPLEX TECHNOLOGY .....	38
<i>S. I. BUKHKALO, N. V. YAKYMENKO-TERESHCHENKO</i> INNOVATIVE COMPLEX PROJECTS AS MODERN TECHNOLOGY FOR THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE «HOTEL AND RESTAURANT BUSINESS» SPECIALTY (ON THE EXAMPLE OF THE DISCIPLINE OF MODERN FOOD TECHNOLOGY) .....	49
<i>S. I. BUKHKALO, A. O. AGEICHEVA, O. M. BELYANSKIY, I. V. ROZHENKO, A. A. ABAKUMOV</i> DIDACTIC MATERIALS PERCEPTION ACTIVATING METHODS IN DISTANCE EDUCATION ....	61

### INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH DIFFERENT PURPOSES

<i>V. A. BOYKO, V. M. SAVYK, S. I. BUKHKALO, O. O. AHEICHEVA</i> DESIGNING EQUIPMENT FOR SYNERGETIC CHEMICAL ENGINEERING PROCESSES ACCORDING TO DRILLING RIG MODERNIZATION RESEARCH MODELS .....	71
<i>O. V. YEFIMOV, P. V. LIFSHYTS, V. L. KAVERTSEV</i> INNOVATIVE SOLUTIONS FOR IMPROVING THE EXISTING HEAT EXCHANGE EQUIPMENT OF METALLURGICAL ENTERPRISES .....	83
INFORMATION .....	88
CONTENT .....	90

*НАУКОВЕ ВИДАННЯ*

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХП»  
СЕРІЯ: ІННОВАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАУКОВИХ РОБОТАХ  
СТУДЕНТІВ**

*Збірник наукових праць*

*№ 1'2024*

Головний редактор: канд. техн. наук, чл-кор. НАН вищої освіти України, проф. С.І. Бухкало

Технічний редактор: доц. Н.М. Мірошніченко

Відповідальний за випуск канд. техн. наук, доц. Н.М. Мірошніченко

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП».

Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів.

Тел.: (057) 707-63-04; +380673010613, e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

Підп. до друку 31.10.24 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.  
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,0. Облік.-вид. арк. 8,75  
Тираж 100 пр. Зам. № 25. Ціна договірна.

---

Друкарня «ФОП Пісня О. В.». Свідоцтво про державну реєстрацію  
суб'єкта видавничої справи ВО2 № 248750 від 13.09.2017 р.  
61002, Харків, вул. Гіршмана, 16а, кв. 21, тел. 0932430788

---