

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 31 (70) № 1 2020

Частина 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технології та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 6 від 03.03.2020 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 № 1714 (додаток 7)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2020

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО

Polishchuk M.M.

OPTIMIZATION OF MOBILE ROBOT PARAMETERS FOR SURFACES OF ARBITRARY ORIENTATION.....1

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

Бернацький А.В., Шелягін В.Д., Сидорець В.М., Сіора О.В., Набок Т.М., Курило В.А., Сучек О.М.
СТВОРЕННЯ УНІФІКОВАНОГО ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ
ДЛЯ СТАНДАРТИЗОВАНИХ КОНТРОЛЬНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....6

Нагнибеда Н.Н., Кухарь В.В., Ткачев Р.О., Радусhev О.О.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ГНУТЫХ И ГНУТО-СВАРНЫХ
АРМИРУЮЩИХ ПРОФИЛЕЙ ОДНОГО ТИПОРАЗМЕРА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ
НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ..... 12

ЕНЕРГЕТИКА

Биковець Н.П.

ДОДАТКОВИЙ ШЛЯХ ДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ
ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНА.....17

Бойко С.М.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ
В УМОВАХ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ..... 22

Дорошенко Я.В.

CFD-ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
У ЗВАРНИХ ТРІЙНИКАХ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ..... 27

Пантєлєєва І.В.

ПРОБЛЕМА КООРДИНАЦІЇ РІВНІВ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ.....34

Петік Т.В., Давидов В.О.

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗМІНИ РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ
ЕНЕРГОБЛОКУ 1000 МВ ТАТОМНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ..... 40

Сірий О.А., Баранюк О.В., Кобилянська О.О.

CFD МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ ТА ГІДРОДИНАМІКИ
В СТРУМІНЕВО-НІШЕВІЙ СИСТЕМІ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА..... 46

Халатов А.А., Доник Т.В., Ступак О.С.

АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЦИКЛУ БРАЙТОНА
З УТИЛІЗАЦІЄЮ ВИКИДНОЇ ТЕПЛОТИ ПО М-ЦИКЛУ.....55

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Азарян В.А.

ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ
ЯКІСТЮ РУДОПОТОКІВ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ. 62

Василишин В.Я., Василишин Я.В., Чорна Ю.В.

УДОСКОНАЛЕНЕ МУФТОВЕ З'ЄДНАННЯ ОБСАДНИХ І НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ.....67

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Крисенко Т.В., Радовенчик Я.В., Глушко О.В., Сіренко Л.В.

ЯКІСНІ РЕАКЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАСИЧЕННЯ ІОНІВ
ПІД ЧАС ІОНООБМІННОГО ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ.....71

Мальшев В.В., Залюбовский М.Г., Габ А.И., Шахнин Д.Б., Косенко В.А.
РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ВОЛЬФРАМА И ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ЕГО ОСНОВЕ (ЧАСТЬ II: ПЕРЕРАБОТКА В РАСПЛАВАХ И АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ В ИОННЫХ ЖИДКОСТЯХ).....77

Сімурова Н.В., Попова І.В., Майборода О.І., Кармашов О.О.
ЗРУЧНИЙ МЕТОД ОДЕРЖАННЯ 2-АРИЛ(ГЕТЕРИЛ)-5-ХЛОРМЕТИЛ-1,3,4-ОКСАДІАЗОЛІВ.....83

Сьомкіна О.В., Токайчук Т.М., Пилипенко О.І.
АНОДНІ ПРОЦЕСИ НА СПЛАВІ Ti6Al4V В СИСТЕМІ «(CH₂)₂(OH)₂-H₂O-NH₄F».....88

Штефан В.В., Булгакова А.С., Пойманов А.Д., Лещенко С.А.
ПЕРСПЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....92

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Vakhmach V.O., Vovkodav O.V., Vovkodav N.I.
RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER SOLUTIONS OF GUAR GUM.....96

Геліх А.О., Применко В.Г., Василенко О.О., Геращенко М., Савісько О.
ОПТИМІЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЙОГУРТІВ ІЗ ДОДАВАННЯМ НАПОВНЮВАЧІВ.....102

Головка М.П., Головка Т.М., Применко В.Г., Геліх А.О.
ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ГІРЧИЦІ, ЗБАГАЧЕНОЇ СЕЛЕНОМ.....109

Соколовська О.Г., Валевська Л.О., Шулянська А.О.
БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ЗЕРНОВИХ СУПЕРФУДІВ.....116

Стріха Л.О., Сморочинський О.М., Частоколяний Б.О.
АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ І РИЗИКІВ ДЛЯ СИРОВИНИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ НАТУРАЛЬНИХ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ.....121

ТРАНСПОРТ

Кірсанова В.В.
СПОСОБИ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ДІОКСИДУ КАРБОНУ.....126

Козьмініх М.А., Ольшамовський В.С.
УДОСКОНАЛЕННЯ СУДНОВИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.....131

Malaksiano M.O., Melnyk O.M.
VESSEL SELECTION PROSPECTS AND SUITABILITY ASSESSMENT FOR OVERSIZED CARGO TRANSPORTATION.....135

БУДІВНИЦТВО

Чубарова Д.С.
ТИПОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА ПАРКІНГІВ.....141

ГЕОДЕЗІЯ

Анопрієнко Т.В., Пілічева М.О., Маслій Л.О., Куліш Ю.Р.
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ.....146

Качановський О.І.
МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ВНАСЛІДОК ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ З ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ LANDSAT.....153

CONTENTS

MACHINE SCIENCE

Polishchuk M.M.

OPTIMIZATION OF MOBILE ROBOT PARAMETERS FOR SURFACES OF ARBITRARY ORIENTATION.....1

MATERIAL PROCESSING IN MECHANICAL ENGINEERING

Bernatskyi A.V., Sheliagin V.D., Sydorets V.M., Siora O.V., Nabok T.M., Kurilo V.A., Suchek O.M.

CREATING UNIFIED LASER TECHNOLOGY EQUIPMENT FOR STANDARDIZED WELDED JOINTS6

Nahnybeda N.N., Kukhar V.V., Tkachev R.O., Radushev O.O.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF BENT AND BENT-WELDED REINFORCEMENT ONE-SIZE SECTIONS STIFFNESS AT THE CROSS-BENDING TEST12

POWER ENGINEERING

Bykovets N.P.

AN ADDITIONAL WAY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS WHILE OPERATING THE SHIP17

Boiko S.M.

FEATURES OF DETERMINING THE POTENTIAL OF DISTRIBUTED ENERGY SOURCES IN THE CONDITIONS OF STEEL ENTERPRISES22

Doroshenko Ya.V.

CFD INVESTIGATION OF GASODYNAMIC PROCESSES IN WELD TEES OF MAIN GAS PIPELINES.....27

Pantielieieva I.V.

THE PROBLEM OF COORDINATION OF SHORT CURRENT CURRENTS IN POWER SYSTEMS34

Petik T.V., Davydov V.O.

DEVELOPING OF A MODEL OF THE PROCESS OF WATER LEVEL CHANGE IN THE STEAM GENERATOR OF THE 1000 MW NUCLEAR POWER PLANT.....40

Siryi O.A., Baranyuk O.V., Kobylanska O.O.

CFD SIMULATION OF HEAT EXCHANGE AND HYDRODYNAMICS IN THE JET-NICHE SYSTEM OF FUEL BURNING46

Khalatov A.A., Donyk T.V., Stupak O.S.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE REVERSE BRAYTON CYCLE WITH DISCHARGED HEAT UTILIZATION ACCORDING TO M-CYCLE.....55

RESOURCE DEVELOPMENT

Azarian V.A.

RATIONALIZING THE COMPLEX CRITERION OF THE QUALITY MANAGEMENT EFFICIENCY ASSESSMENT IN THE CONDITIONS OF AN ORE MINING AND PROCESSING PLANTS62

Vasylyshyn V.Ya., Vasylyshyn Ya.V., Chorna Yu.V.

IMPROVED COUPLING AND PUMP CONNECTION PIPES.....67

CHEMICAL TECHNOLOGY

Krysenko T.V., Radovenchyk I.V., Hlushko O.V., Syrenko L.V.

QUALITATIVE REACTIONS FOR CONTROL OF ION-EXCHANGE RESIN SATURATION LEVEL IN WATER SOFTENING PROCESSES.....71

Malyshev V.V., Zaliubovskiy M.G., Gab A.I., Shakhnin D.B., Kosenko V.A.
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES FOR PROCESSING OF WASTE OF TUNGSTEN
AND SOLID ALLOYS ON ITS BASE (PART II: PROCESSING IN MELTS
AND ANODIC DISSOLUTION IN IONIC LIQUIDS)77

Simurova N.V., Popova I.V., Mayboroda O.I., Karmachov O.O.
A CONVENIENT METHOD FOR THE PREPARATION
OF 2-ARYL(HETERYL)-5-CHLOROMETHYL-1,3,4-OXADIASOLES83

Semkina O.V., Tokaichuk T.M., Pilipenko O.I.
ANODE PROCESSES ON THE Ti6Al4V ALLOY IN THE SYSTEM “(CH₂)₂(OH)₂-H₂O-NH₄F”88

Shtefan V.V., Bulhakova A.S., Poimanov A.D., Leshchenko S.A.
PROSPECTIVE ELECTRICAL MATERIALS FOR FUEL ELEMENTS92

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Bakhmach V.O., Vovkodav O.V., Vovkodav N.I.
RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER SOLUTIONS OF GUAR GUM96

Helikh A.O., Prymenko V.H., Vasylenko O.O., Gerashchenko M., Savisko O.
OPTIMIZATION OF YOGURT QUALITY INDICATORS WITH ADDITIONAL FILLERS102

Golovko M.P., Golovko T.M., Prymenko V.H., Gelikh A.O.
THE TECHNOLOGY OF MUSTARD PRODUCTION ENRICHED WITH SELENIUM109

Sokolovskaya O.H., Valevskaya L.O., Shulyanska A.O.
BIOLOGICAL VALUE OF GRAIN SUPERFOODS116

Striha L.O., Smorochinskij O.M., Chastokolyanij B.O.
THE ANALYSIS OF HAZARDOUS FACTORS AND RISKS FOR RAW MATERIALS
IN THE PRODUCTION OF NATURAL MEAT PRODUCTS121

TRANSPORT

Kirsanova V.V.
METHODS OF NEUTRALIZING CARBON DIOXIDE126

Kozminykh M.A., Olshamovsky V.S.
IMPROVEMENT OF SHIP SYSTEMS OF VENTILATION AND COMFORT
AND TECHNOLOGICAL CLIMATIZATION131

Malaksiano M.O., Melnyk O.M.
VESSEL SELECTION PROSPECTS AND SUITABILITY ASSESSMENT
FOR OVERSIZED CARGO TRANSPORTATION135

CONSTRUCTION

Chubarova D.S.
TYPOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF PARKING141

GEODESY

Anopriienko T.V., Pilicheva M.O., Masliy L.O., Kulish Yu.R.
CURRENT TRENDS OF THE INFORMATION SUPPLY OF THE LAND CADASTRE
IN UKRAINE AND THE WORLD146

Kachanovskiy O.I.
IDENTIFICATION METHOD OF BROKEN LANDS BECAUSE
OF AMBER PRODUCTION BY USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES LANDSAT153

UDC 621.865.8(031)

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/01>

Polishchuk M.M.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

OPTIMIZATION OF MOBILE ROBOT PARAMETERS FOR SURFACES OF ARBITRARY ORIENTATION

Mobile robots of arbitrary orientation in the technological space are a new modification of mobile robots, known as robots of vertical movement or, in foreign publications, under the name Climber Robot. The difference between these robots is to equip them with devices to overcome the gravitational load while moving on surfaces of arbitrary orientation. Of particular relevance is the problem of creating robots of this type, if necessary, for the maintenance of high-altitude objects, such as skyscrapers, high-voltage power lines, bridges, viaducts, woodlands, etc. Of significant interest is the use of such robots in conditions of technological disasters.

The article describes a modified method for optimizing the design and technological parameters of a mobile robot, which is presented in the form of a multi-level technical system. The difference between the optimization methodologies is that the optimality criteria of each previous level are included in the objective function of each higher level of the technical system as variable factors. The article presents a fundamentally new design of the robot with storage of potential energy and its conversion into kinetic energy of movement of the robot. The results of modelling the process of movement of the robot on a vertical surface are also presented.

The presence of elastic energy accumulators can significantly increase the energy efficiency of mobile robots, since autonomous power sources with a limited energy resource are used in such robots. The proposed model for optimizing the parameters of the robot allows us to calculate the quasi-optimal values of the design and technological parameters of the robot, which is sufficient to ensure the efficient operation of mobile robots in various fields of industry and utilities.

Key words: mobile robot, stepping mechanism, climber robot, vertical movement robot.

Formulation of the problem. The creation of mobile robots of arbitrary orientation in the technological space is not limited only to the improvement of their retention systems on the movement surface. This type of robots, like any technical system, is a multi-level hierarchical system, which includes subsystems of gripping devices, motion drives and transmission. Therefore, the solution of the optimization problem of these subsystems requires the construction of a parametric model, in which relationships of optimization criteria at various levels of the hierarchical system should be shown.

Analysis of recent research and publications. The fundamentals of climbing robots modelling are rather widely described in works [1, p. 260; 2, p. 35–36], though without solving the problem of reusing energy of motion. Modelling of vertical moving robots is devoted in work [3, p. 28], however without solving the problem of energy consumption of motion. Studies [4, p. 6; 5, p. 2–4] contain descriptions of various models of robots. But in these works there are no designs for the recuperation of energy of motion. Known

technical solutions [6, p. 8] promote partial energy saving, for example, by using pulsed lifting mechanism. However, described system increases weight of robot, so it leads to increasing energy consumption. Therefore, the task of reducing energy consumption of the mobile robot movement is still relevant.

Setting objectives. To build a parametric model of a mobile robot, it is necessary to formulate and write down target functions for optimizing the design and technological parameters of each of its subsystems. Then establish the connection of optimization criteria at various levels of the hierarchical system and ultimately calculate the quasi-optimal values of the robot parameters that can ensure its effective operation.

Statement of the main material. In Fig. 1 shows a mobile robot [7, p. 4–6] realizing having the ability to accumulate potential energy at each previous step and converting it into kinetic energy of motion at each subsequent step of displacement. On the robot body 1 are mounted rotary pneumatic actuators 2 connected through a gear train 10 with running mechanisms 3. When the elastic members 4 are

compressed due to the rotation of the legs of the robot, the potential energy is accumulated during the first half of the step, and in the second half of the step, these elements convert the potential compression energy in the kinetic energy of the robot's motion. The kinematics and dynamics of such a robot are considered in more detail in the works [8, p. 117; 9].

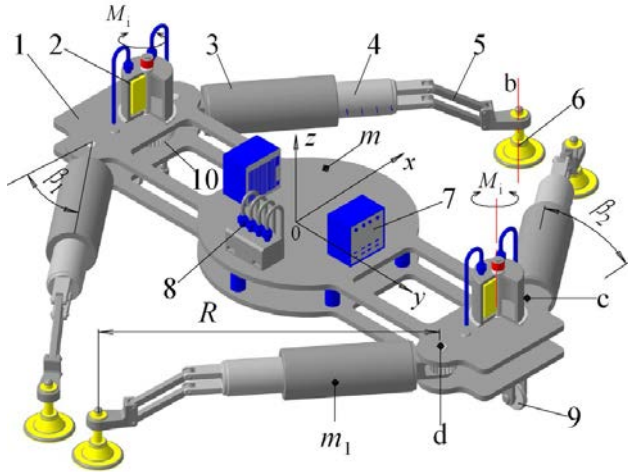


Fig. 1. The robot model of arbitrary orientation with the accumulation and transformation of energy

To implement a plane-parallel motion along the vertical, the robot is equipped with parallelograms 5. The latter connect pedipulators with vacuum grippers 6 that hold the robot on a surface of arbitrary orientation. Also, the robot is equipped with a control unit 7 and a power supply module 8. To overcome obstacles on the moving surface, the robot is additionally equipped with rolling bearings 9 [10, p. 14].

For designing walking mechanisms – pedipulators, it is necessary to synthesize analytical dependences for dynamic loads. According to the scheme on Fig. 2 pedipulators propulsive force is:

$$F = F_1 + F_2, \tag{1}$$

where: F_1 and F_2 – variable propulsive forces of the servos respectively on the first half-cycle of movement – at the stage X_1 and on the second half-cycle of movement – at stage X_2 . At the stage of energy accumulation X_1 propulsive force of two pedipulators equals:

$$F = \frac{2M_i}{nz} - 2f, \tag{2}$$

where: M – torque of the servomotor, Nm; i – transmission ratio of pedipulator servomotor; β – the angle of pedipulator axis rotation, degrees, $0 \leq \beta_1 \leq \beta^{\max}$ (here the values $\beta_1 = 0$ and $\beta_1 = \beta^{\max}$ correspond to the beginning and end of the pedipulator axis rotation); n – module and z – number of cogs of the wheel (gear); f – resistance force (N): $f = J \sin \beta_1$ where: J – variable force of the elastic element, N:

$$J = P_{\min} + jx = P_{\min} + j(R_1 - R_1 \cos \beta_1) = P_{\min} + jR_1(1 - \cos \beta_1) \tag{3}$$

where: P_{\min} – preload clamping force (N), j – stiffness (N/m) and x – the value of deformation of the elastic element (potential energy storage), m.

At the stage of accumulated energy usage X_2 when the servomotor is switched off (that is, when $\beta_1 \geq \beta_2 \leq \beta_2^{\max}$ and the beginning and the end of the axis rotation corresponds to the values $\beta_2 = \beta_1$ and $\beta_2 = \beta_2^{\max}$) propulsive force is equal to:

$$F_2 = -J \sin \beta_2 + P_{\min} = jx \sin \beta_2 + P_{\min} = -[jR_1(1 - \cos \beta_2)] \sin \beta_2 + P_{\min}, \tag{4}$$

where β_2 – the angle of the pedipulator axis rotation on the stage of energy recycling.

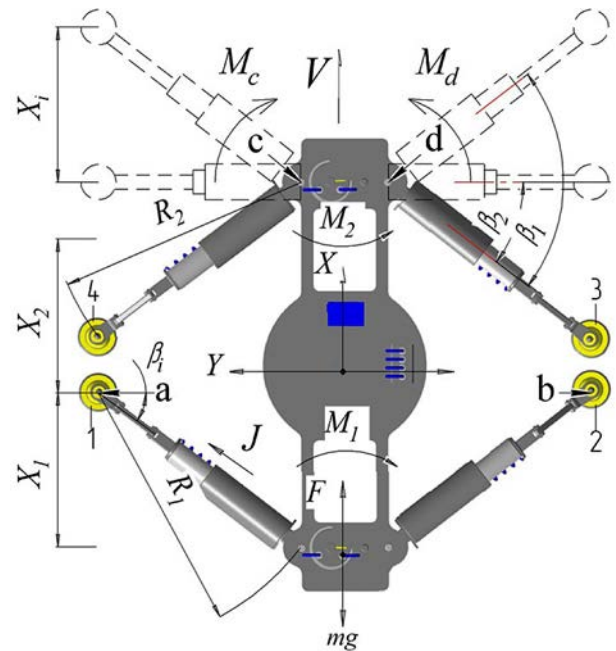


Fig. 2. Loading diagram of pedipulator (plan view): grippers 1, 2 – attached to the surface and 3, 4 – free from engagement with the surface, respectively

From (4) it is obvious that during the rotation of pedipulators deformation value of elastic elements x decreases from value $x = R_1(1 - \cos \beta_2)$ to value $x = 0$, which means the end of motion using previously accumulated energy above other pair of pedipulators 3 and 4 (see. Fig. 2) which are disengaged from the surface of movement perform free movement. As noted above, the robot body during the full cycle travels distance equal to $X_1 + X_2$. At the same time disabled (free from engagement with the movement surface) grippers 3 and 4 covers double distance: $2(X_1 + X_2)$, due to the simultaneous movement of robot's body and grippers themselves. During this free movement of pedipulators 3 and 4 their elastic elements are not deformed, and therefore disconnected from the sur-

face grippers move along the arc with centers in corresponding points “c” and “d” and radius $R_2 \geq R_1 \cos \beta_1$ under the influence of the torques:

$$M_c = M_d = M_1 i \quad (5)$$

and with linear speed:

$$V_i = V + \omega R_2 = V + \omega_1 i R_2 \quad (6)$$

where: V – linear speed of the robot, m/s; $V = \omega_1 i R_1 \cos \beta_1$; ω and ω_1 – respectively, the angular speed of disconnected pedipulators and the main servomotor of the robot, rad/s; i – transmission ratio of pedipulator servomotor.

Clearly, unlike constant speed of free actuators $\omega R_2 = Const$, relative speed of the robot’s body and enabled actuators is variable and depends on the rotation angle $\cos \beta_1$ of the working actuators.

Solving the optimization problem. Let’s consider stepping robot for vertical movement as a hierarchical multi-level system. Its scheme is shown above in Fig. 2. The robot contains subsystem for retaining on the surface of movement represented by vacuum grippers (see position 6 in Fig. 1), transmission with potential energy accumulators capable to transform this energy into kinetic energy of motion and servomotors to drive pedipulators (stepping mechanisms).

The formula of vacuum grip force Q , that holds the robot on the surface of movement, can be used as objective function of the 1st level:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} K_s (p_a K_a - p_v) K \rightarrow \max \quad (7)$$

under the constraints:

$$(25 \leq d \leq 100) \times 10^3; 0,9 \leq K_s \leq 1; (50 \leq p_v \leq 80) \times 10^3; 0,65 \leq K \leq 0,85$$

where: d – diameter of the vacuum zone under the suction cup, (m); $\pi d^2/4$ – area that is bounded by suction cup inner contour (m²); K_s – suction area reduction coefficient due to the seal deformation; $p_a = 101 \times 10^3$ (Pa) – atmosphere pressure; p_v (Pa) – pressure inside the suction chamber; K_a – coefficient to take into account changes in atmospheric pressure ($K_a = 0,9$); K – coefficient to consider air influx in the chamber seal of suction cup in place of its contact with the surface of movement.

Maximum and minimum values of the objective function are:

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \frac{\pi d_{\max}^2}{4} K_s^{\max} (p_a K_a^{\max} - p_v^{\min}) K_{\max}; Q_{\min} \\ &= \frac{\pi d_{\min}^2}{4} K_s^{\min} (p_a K_a^{\min} - p_v^{\max}) K_{\min} \end{aligned} \quad (8)$$

The grip force also affects the permissible stiffness value j of elastic element, that accumulates potential energy and converts it into kinetic energy of motion, because the inequality should be true:

$$F_T > J_{\max} \Rightarrow \mu Q_{\max} > P_{\min} + j R_2 (1 - \cos(45^\circ)), \quad (9)$$

where: P_{\min} – minimum value of preliminary compression of the elastic element, N ;

R_2 – length of the robot leg in a free state (for our solution $R_2 = 0,2$ m); $\beta = 45^\circ$ – robot leg rotation angle.

We find the elastic element stiffness value from the expression (9)

$$j < \frac{\mu Q_{\max} - P_{\min}}{R_2 (1 - \cos(45^\circ))}, \quad (10)$$

As it is stated above, the difference of the proposed method is in a mutual relationship between the criteria and parameters that characterize each next level of the system. Therefore, we take force f of resistance to the movement coming from elastic element decompression as one of the objective functions on the second level of hierarchy for our technical system. When the robot leg rotates in the range $0 \leq \beta_1 \leq 45^\circ$:

$$\begin{aligned} f &= J \sin(45^\circ - \beta_1) = P_{\min} \sin(45^\circ - \beta_1) + \\ &+ j R_2 \left(1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_1)} \right) \sin(45^\circ - \beta_1) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (11)$$

where j – elastic element (spring) stiffness (see Fig. 1, item 4): $1000 \text{ " } j \text{ " } 4000 \left(\frac{N}{m} \right)$.

Obviously, increase of the elastic element will lead to the objective function growth. In order to evaluate the objective function behaviour with angle β_1 (turn of the the robot leg) change, we find the derivative:

$$\frac{df}{d\beta_1} = -(P_{\min} + j R_2) \cos(45^\circ - \beta_1) + j R_2 \left(\frac{\cos 45^\circ}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} \right). \quad (12)$$

It is easy to estimate that the derivative is negative for $\beta_1 = 45^\circ$ and positive for $\beta_1 = 0$. This means that the objective function reaches maximum within the β_1 range and minimum value $f = 0$ at the angle $\beta_1 = 45^\circ$. The stiffness of the elastic element equal to

$$j < \frac{(m + 2m_1)gL - 2P_{\min}x_{\max}}{2x_{\max}^2}, \quad (13)$$

After substituting $Q = Q_{\max}$ and $W = 0$, we get a formula to find the maximum value of robot movement force depending on the stiffness j and the angle β_0 :

$$\begin{aligned} F_1^{\max} &= 2\sqrt{(\mu Q_{\max})^2 - (J_o \cos(45^\circ - \beta_o))^2} + \\ &+ (m + 4m_1)g + 2J_o \sin(45^\circ - \beta_o) \end{aligned} \quad (14)$$

where the elastic element force is equal to

$$J_o = P_{\min} + j R_2 \left(1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_o)} \right).$$

For practical application formula (14) may be expressed in terms of dimensionless quantities:

$$y = 2\sqrt{(q_0)^2 - (J_1 \cos(45^\circ - \beta_0))^2} + 1 + 2J_1 \sin(45^\circ - \beta_0), \quad (15)$$

where: $y = \frac{F_1^{\max}}{G_2}$; $q_0 = \frac{\mu Q_{\max}}{G_2}$; $P_0 = \frac{P_{\min}}{G_2}$; $j = kj_0$;

$$h_0 = \frac{jR_2}{G_2}; J_1 = P_0 + kh \left(1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_0)} \right);$$

$j_0 = 100$ (N/m); k – proportionality coefficient; $G_2 = m_2g$ – weight of the robot.

Fig. 3 shows how the values of the parameter y (curved lines) vary depending on the elastic element stiffness $j = kj_0$ and y_1 (straight lines) for different values of angle β_0 – the extreme value of angle β_1 , when the drive force F_1 still has effect. The permissible force values $F_1 = yG_2$ and stiffness $j = kj_0$ are in the region located between the straight line and the corresponding curve.

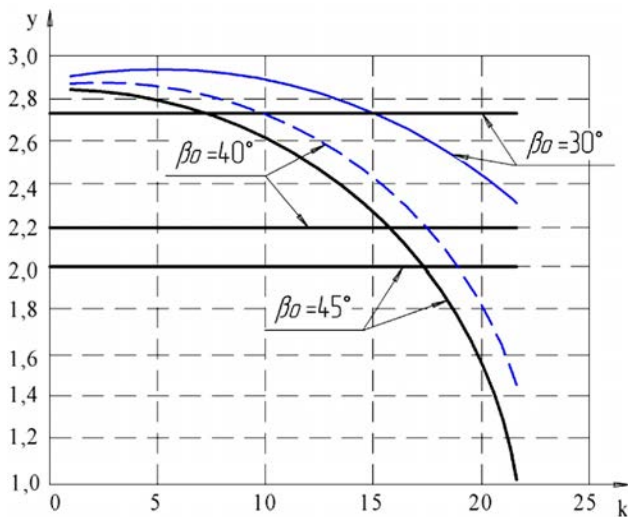


Fig. 3. Areas of permissible values of robot drive force F_1 and stiffness j – between the straight line and corresponding curve

Now let's choose objective function for the second stage of robot movement. F_2 is a force of elastic element decompression applied to the robot with disabled drives:

$$F_2 = - \left(P_{\min} + jR_2 \left(1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_1)} \right) \right) \sin(45^\circ - \beta_1) \rightarrow \max ; \quad (16)$$

$45^\circ \leq \beta_1 \leq 90^\circ$

In order to find extremal points of F_2 we calculate the derivative and equate it to zero:

$$\frac{\partial F_2}{\partial \beta_1} = \left(P_{\min} \cos(45^\circ - \beta_1) + jR_2 \left(\cos(45^\circ - \beta_1) - \frac{\cos 45^\circ}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} \right) \right) = 0 \quad (17)$$

From this equation we find:

$$\cos(45^\circ - \beta_1) = \sqrt[3]{\frac{jR_2 \cos 45^\circ}{P_{\min} + jR_2}} \Rightarrow \beta_1 = 45^\circ + \arccos \left(\sqrt[3]{\frac{jR_2 \cos 45^\circ}{P_{\min} + jR_2}} \right) \quad (18)$$

Since the derivative changes its sign from plus to minus when passing through the critical point, the function reaches a maximum at this point:

$$F_2^{\max} = \left(P_{\min} + jR_2 \left(1 - \frac{\cos 45^\circ \sqrt[3]{P_{\min} + jR_2}}{\sqrt[3]{jR_2 \cos 45^\circ}} \right) \right) \left(\sqrt[3]{1 - \frac{(jR_2 \cos 45^\circ)^2}{(P_{\min} + jR_2)^2}} \right) \quad (19)$$

Dependency between maximum value of drive force F_2^{\max} and the stiffness of potential energy accumulator (elastic elements) j is shown in Fig. 4. It is obvious that an increase of elastic element stiffness leads to the corresponding increase of the driving force F_2 in the second stage of robot movement.

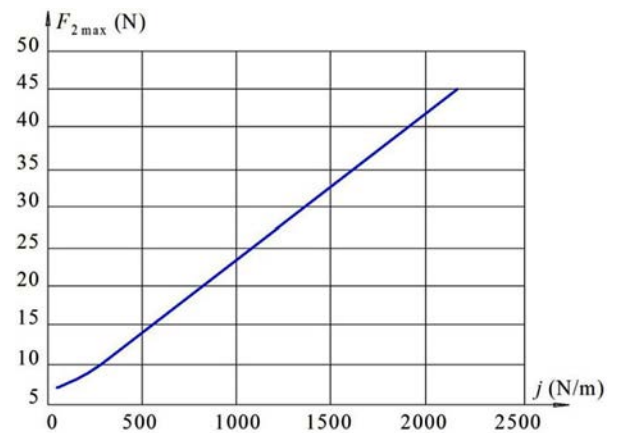


Fig. 4. Dependency between maximum values of driving force F_2^{\max} and stiffness of elastic elements j (N/m)

However, it should be taken into account that increasing stiffness of elastic element counteracts robot movement force F_1 in the first stage of the movement and therefore there are some limitations (10). In the second stage of the movement ($45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$) pedipulator drive is disabled in order to save energy so the robot moves only using accumulated energy. Therefore, stiffness values of elastic elements have dominant influence on the movement dynamics.

Conclusions. A mobile robot of arbitrary orientation with motion energy recovery modules allows increasing its energy efficiency due to the accumulation of potential energy at each previous step of movement and the conversion of this energy into kinetic energy of movement at each next step of movement.

The proposed model of parametric optimization of a walking mobile robot allows us to calculate the quasi-optimal values of its design parameters. These values are sufficient for the effective operation of a mobile robot of the specified type in various industries.

References:

1. Apostolescu T., Udrea C., Duminica D., Ionascu G., Bogatu L., Laurențiu A. and Maioreescu T. (2011), Development of a Climbing Robot with Vacuum Attachment Cups. *Proceedings of International Conference On Innovations, Recent Trends And Challenges In Mechatronics, Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development, МЕСАHITECH'11*, vol. 3, 2011, p: 258–267.
2. Raju D., Jaju S. (2014), Developments in Wall Climbing Robots: A Review *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol 2(3), p. 33–42.
3. Lam T.L., Yangsheng X. (2012). *Tree Climbing Robot: Design, Kinematics and Motion Planning*. Springer Heidelberg New-York, p. 28–29.
4. Yehya M., Hussain S., Wasim A., Jahanzaib M., Abdalla H. (2014). A Cost Effective and Light Weight Unipolar Electro-adhesion Pad Technology for Adhesion Mechanism of Wall Climbing Robot. *International Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 2, № 1, 2014, p. 1–10.
5. Silva M., Tenreiro Machado J. (2012). A Survey of Technologies and Applications for Climbing Robots Locomotion and Adhesion. ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto Portugal. Available at: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/10079.pdf>.
6. Zheleznjak V.L., Zheleznjak I.F., Zheleznjak F.A. and Matveenکو L.S. Vehicle. RU, Pat. 2068362. 27.10.1996.
7. Yampolskiy L.S., Polishchuk M.N., Persikov V.K. Method and device for movement of pedipulators of walking robot. UA, Pat. 111021. 10.03.2016.
8. Polishchuk M., Oliinyk V. (2018). Mobile climbing robot with elastic energy accumulators. *Mechanics and Advanced Technologies*, vol. 1(82), p. 116–122.
9. Polishchuk M.N., Oliinyk V.V. (2020). Dynamic Model of a Stepping Robot for Arbitrarily Oriented Surfaces. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds). *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 938. Springer, Cham.
10. M. Polishchuk, M. Tkach (2020). Mobile Robot with an Anthropomorphic Walking Device: Design and Simulation. *FME Transactions*. Volume 48, № 1, 2020. p. 13–20.

Поліщук М.М. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ПОВЕРХОНЬ ДОВІЛЬНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ

Мобільні роботи довільної орієнтації у технологічному просторі є новою модифікацією мобільних роботів, відомих як роботи вертикального переміщення, а в закордонних публікаціях – під терміном Climber Robot (робот-альпініст). Відмінність таких роботів полягає в оснащенні їх пристроями подолання гравітаційного навантаження під час руху на поверхнях довільної орієнтації. Особливу актуальність проблема створення роботів означеного типу набуває за необхідності технологічного обслуговування висотних об'єктів: хмарочоси, лінії високовольтних електропередач, мостів, віадуків, деревних масивів тощо. Неабиякий інтерес викликає застосування таких роботів в умовах техногенних катастроф.

У статті описаний модифікований метод оптимізації конструктивних і технологічних параметрів мобільного робота, який представлений у вигляді багаторівневої технічної системи. Різниця між методологіями оптимізації полягає в тому, що критерії оптимальності кожного попереднього рівня включаються в цільову функцію кожного вищого рівня технічної системи як змінні фактори.

У статті представлено принципово нову конструкцію робота зі зберіганням потенційної енергії та перетворенням її в кінетичну енергію руху робота. Представлені також результати моделювання руху робота по вертикальній поверхні.

Наявність пружних акумуляторів енергії дозволяє суттєво підвищити енергетичну ефективність мобільних роботів, оскільки в подібних роботах використовуються автономні джерела живлення з обмеженим енергетичним ресурсом. Запропонована модель оптимізації параметрів робота дозволяє обчислювати квазіоптимальні значення його конструктивних і технологічних параметрів, що достатньо для забезпечення ефективної експлуатації мобільних роботів у різних галузях промисловості та комунального господарства.

Ключові слова: мобільний робот, крокові механізми, робот-альпініст, робот вертикального переміщення.

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.791.725

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/02>

Бернацький А.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Шелягін В.Д.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сидорець В.М.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сіора О.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Набок Т.М.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Курило В.А.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сучек О.М.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

СТВОРЕННЯ УНІФІКОВАНОГО ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТАНДАРТИЗОВАНИХ КОНТРОЛЬНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Технології лазерного зварювання активно застосовуються в електронному машинобудуванні, автомобілебудуванні, атомній, космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості. Така різноманітність промислових впроваджень технології лазерного зварювання потребує уніфікації під час виготовлення контрольних зварних з'єднань. Однак результати досліджень досить розрізнені і не піддаються систематизації. Вирішенню проблеми створення спеціалізованого технологічного устаткування для виготовлення контрольних зварних з'єднань раніше не приділялося досить уваги. Відповідно до стандарту ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 «Технічні умови й атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 11. Електронно-променеве та лазерно-променеве зварювання», під час проведення підготовки до атестації технології лазерного зварювання вимагається виготовлення контрольних зразків зварних з'єднань заданої форми та розмірів. Тому постає проблема розроблення, виготовлення та апробації необхідного для цього технологічного устаткування. Метою роботи було створення уніфікованого технологічного устаткування для підготовки контрольних зварних з'єднань для проведення подальшої атестації технології лазерного зварювання. Розроблено конструкторську документацію (ескізний проєкт) технологічного устаткування для виготовлення контрольних таврових, кутових, стикових і напусткових зварних з'єднань із різних матеріалів. Згідно з ескізним проєктом виготовлено трубицини, за допомогою яких одержано контрольні зварні з'єднання: стикові та напусткові; таврові; кутові. Функціональні випробування створеного уніфікованого устаткування виконано під час проведення досліджень лазерного зварювання контрольних з'єднань різних типів і виготовлених із різних матеріалів. За результатами проведених функціональних випробувань створеного технологічного устаткування встановлено відповідність контрольним значенням параметрів усіх необхідних характеристик.

Ключові слова: лазерне зварювання, атестація технології, технологічне устаткування, контрольні зварні з'єднання, випробування.

Постановка проблеми. Впровадженню технології лазерного зварювання будь-якого виду продукції передують атестація технології зварювання, яка виконується відповідно до чинного стандарту ДСТУ EN ISO 15607:2019 «Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Загальні правила». Відповідно до вказаного стандарту передбачено такі способи атестації технології лазерного зварювання: атестація на основі випробування технології зварювання; атестація на основі набутого досвіду у зварюванні; атестація на основі стандартної технології зварювання; атестація на основі довірочного зварювального випробування. За результатами виконання атестації технології зварювання складається відповідний протокол атестації, на підставі якого виробник або експертний орган розробляє технологічну інструкцію лазерного зварювання відповідного виду продукції.

Найбільш поширеним є спосіб атестації на основі випробування технології зварювання. ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 «Технічні умови й атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 11. Електронно-променево та лазерно-променево зварювання» регламентує цей процес атестації, а саме – він містить у собі таке: вимоги до кваліфікаційних випробувань; вимоги до форми та розмірів контрольних зварних з'єднань; вимоги до обсягів і видів контролю; вимоги до місця розташування та розмірів дослідних зразків, тощо. Відповідно до цього стандарту вимагається виготовлення зразків заданої форми та з розмірами не менше визначених. Тому постає проблема розроблення та виготовлення технологічного устаткування, необхідного для підготовки контрольних зварних з'єднань для проведення подальшої атестації технології лазерного зварювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Глобальною тенденцією технічного прогресу в економіці найбільш розвинених країн є широке застосування і вдосконалення нових наукоємних перспективних технологій, до яких, зокрема, належать і лазерні технології обробки матеріалів, наприклад лазерне зварювання [1–3]. Використання технологій лазерного зварювання має вирішальне значення для підвищення продуктивності праці та конкурентоспроможності продукції в багатьох галузях промисловості [4–6]. Відмінними рисами застосування лазерів у виробництві є висока якість виробів, висока продуктивність процесів, економія людських і матеріальних ресурсів, екологічна безпека [7–9]. Технології

лазерного зварювання активно застосовуються в електронному машинобудуванні, автомобілебудуванні, атомній, космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості [1; 3–5; 8–11]. Така різноманітність промислових впроваджень технології лазерного зварювання потребує уніфікації під час виготовлення контрольних зварних з'єднань. Однак результати досліджень досить розрізнені і погано систематизуються. Вирішенню проблеми створення уніфікованого технологічного устаткування для виготовлення контрольних зварних з'єднань не приділялося досить уваги.

Постановка завдання. Для проведення експериментальних досліджень лазерного зварювання сталей і сплавів авторам роботи необхідно було розробити, виготовити та випробувати уніфіковане технологічне устаткування, необхідне для підготовки контрольних зварних з'єднань для проведення подальшої атестації технології лазерного зварювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для виготовлення контрольних зварних з'єднань, що відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 15614-11:2015, було розроблено ескізний проект уніфікованого технологічного устаткування (струбцини) для виготовлення контрольних таврових, кутових, стикових і напусткових зварних з'єднань із різних матеріалів. На Рис. 1 наведено 3D-моделі розробленого технологічного устаткування.

Згідно з ескізним проектом виготовлено за допомогою механічної обробки (фрезерування, шліфування, свердління тощо) та зварювання три струбцини для одержання контрольних зварних з'єднань: стикових і напусткових (Рис. 2); таврових (Рис. 3); кутових (див. Рис. 4).

Корпус струбцини для зварювання листових зразків встик і внапусток (див. Рис. 1) виготовлений зі сталі 20, товщиною 10 мм, всередині пустотілий, для рівномірної подачі захисного газу. Товщина і марка сталі забезпечує відсутність деформації зразків як у процесі зварювання, так і після нього від залишкових напружень [6; 11]. Технологічне устаткування для зварювання листових зразків у стик і в напусток обладнано системою газового захисту зворотної частини зварюваних зразків, яка забезпечує надійний захист рідкого та гарячого (з температурою понад 500°C) металу від навколишньої атмосфери. Газодинаміка була промодельована у SolidWorks. Попередні результати моделювання уточнювали на експерименті. Як захисний газ можуть застосовуватися різні гази або їхні суміші. Витрати

газу – 4...30 л/хв, за тиску 0,01...0,25 МПа. Система газового захисту зворотної частини зварюваних зразків обладнана штуцером під шланг, діаметром 10 мм (через який подається газ), каналом проходження захисного газу (що унеможливує приварювання зразка до тіла струбцини) і вихідними отворами діаметром 2 мм

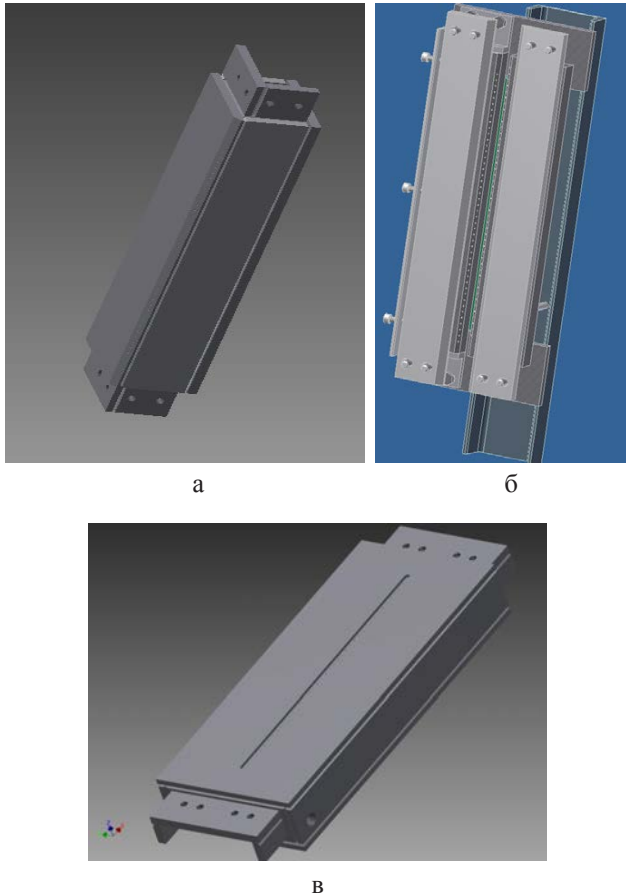


Рис. 1. Модель струбцини для зварювання контрольних зварних з'єднань: а – кутових; б – таврових; в – стикових і напусткових



Рис. 2. Струбцина для зварювання стикових і напусткових контрольних зварних з'єднань

та загальною кількістю 39 шт. (їхня загальна площа – 1,2 см²), вздовж всієї довжини формування зварного шва для подачі захисного газу зі зворотної сторони швів.

Внутрішній об'єм камери цієї струбцини (Рис. 2) 19,0×5,8×48,0 см становить 5289 см³. Габаритні розміри струбцини для зварювання стикових і напусткових зварних з'єднань – 615×215×80 мм. Розмір поверхні під зразки – 505×215 мм. Розмір корпусу забезпечує встановлення зразків розміром не більше 500×100 мм (2 шт.). Зразки для зварних з'єднань прилягають до корпусу в одній площині. Кріплення зварюваних зразків до корпусу забезпечується за допомогою прижимних планок. Для рівномірного притиснення зразка та для того, щоб уникнути його деформування під час зварювання, прижимні планки були виготовлені зі сталі 20. Виготовлено прижимні планки двох типорозмірів, що мають товщини 20 мм та 40 мм і розміри 620×80 мм і 620×70 мм відповідно. Прижимні планки мають скоси 45°...60° в сторону шва для забезпечення безперешкодного проходження пристрою газового захисту зварювальної ванни. Для кріплення струбцини під час зварювання у вертикальному положенні або під якимось іншим кутом у задній стінці зроблено три отвори під болти з різьбою М10. Конструкція технологічного устаткування забезпечує можливість її ручного транспортування. Маса цієї струбцини становить 30 кг.

Струбцина для зварювання таврових зразків (Рис. 3) розділена на два корпуси, виготовлені з конструкційної сталі Сталь 20, товщиною 10 мм. Перший із них жорстко закріпленний на плиті, а другий корпус має можливість переміщення щодо положення першого, в одній площині, для фіксації ребра таврового зварного з'єднання. Діапазон переміщення становить 0...11 мм. Переміщується рухомий корпус за допомогою болтів, встановлених на кронштейні з бокової частини рухомого корпусу по довгій стороні. Розмір корпусу забезпечує встановлення зразків полиці і ребра, розміром не більше 500×200 мм.

Конструкція струбцини для виготовлення контрольних зразків таврових зварних з'єднань (Рис. 3) забезпечує можливість виконання лазерного зварювання прорізним швом, що досягає ребра, зі сторони полиці. Подача захисного газу здійснюється до зворотної частини полиці з обох боків ребра, вздовж всієї довжини формування зварного з'єднання.

Корпуси технологічного устаткування для виготовлення контрольних зразків таврових

зварних з'єднань усередині пустотілі, для рівномірної подачі захисного газу (Рис. 3). Подача захисного газу виконана в кожному із двох корпусів і забезпечує захист зварного з'єднання з обох сторін ребра під полицею. Паз для подачі захисного газу утворений за допомогою скосу кромки (5×5 мм) корпусів під кутом 45°. На скосах зроблено вихідні отвори, діаметром 2 мм та загальною кількістю 39 шт. Поверхні струбцини для зварювання таврових зварних з'єднань нерухомого і рухомого корпусів, на які прилягає полиця зразка для зварювання, є в одній площині (Рис. 3). Граничне відхилення від площини не більше $\pm 0,1$ мм. Ребро таврового з'єднання встановлюється між корпусами в середній частині полиці під кутом 90° до полиці. Кріплення полиці зварюваних зразків до корпусів забезпечено за допомогою прижимних планок. Гарантоване прилягання ребра до полиці забезпечується рухомим корпусом за допомогою прижимної планки і болтів. Прижимні планки, товщиною 40 мм, мають скоси 60° в сторону шва для забезпечення безперешкодного проходження пристрою газового захисту зварювальної ванни. Внутрішній об'єм камери кожного корпусу 90×16×480 мм становить 619 см³. Розміри струбцини для зварювання таврових зразків 625×255×167 мм. Її маса майже 30 кг. Струбцина може встановлюватись під довільним кутом під час проведення експериментальних досліджень.

Конструкція технологічного устаткування для виготовлення контрольних зразків кутових зварних з'єднань (Рис. 4) складається з пустотілого корпусу (для рівномірної подачі захисного газу), виготовленого зі Сталі 20 товщиною 10 мм. Розмір корпусу забезпечує встановлення зразків, розміром кожної з пластин не більше 500×100 мм. Корпус має дві перпендикулярні грані для встановлення зразків зварних з'єднань. Забезпечується граничне відхилення від перпендикулярності не більше $\pm 0,1$ мм. Зварювання виконується із зовнішньої сторони кута встановлених зразків.

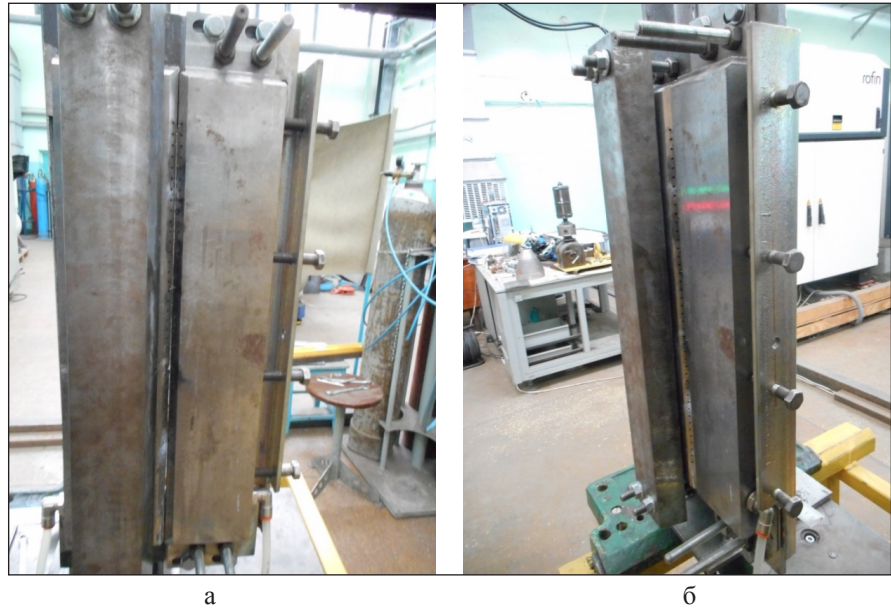


Рис. 3. Зовнішній вигляд струбцини для зварювання таврових зварних з'єднань: а – з лицьової сторони; б – збоку



Рис. 4. Зовнішній вигляд струбцини для зварювання кутових контрольних зварних з'єднань

Для рівномірного прилягання зразка та для того, щоб уникнути його деформування під час зварювання, використовуються прижимні планки, виготовлені зі Сталі 20, товщиною 40 мм (Рис. 4). Прижимні планки мають скоси 45° в сторону шва для забезпечення безперешкодного проходження пристрою газового захисту зварювальної ванни. Система газового захисту зворотної частини зварюваних зразків кутових зварних з'єднань обладнана каналом проходження захисного газу (порожниною під траєкторією шва вздовж усієї довжини формування зварного шва). Паз для подачі захисного газу формується за допомогою скосу кромки (5×5мм) корпусу під кутом 45°. На скосі зроблено вихідні отвори, діаметром 2 і та загальною кількістю 39 шт. Через штуцер під шланг

діаметром 10 мм (внутрішній отвір діаметром 5 мм), який розташований із боку струбцини, забезпечується подача захисного газу зі зворотної сторони зварного з'єднання. Конструкція технологічного устаткування для виготовлення контрольних зразків кутових зварних з'єднань забезпечує можливість його ручного транспортування. Внутрішній об'єм камери струбцини кутової 106×80×480 мм становить 4070 см³. Розміри струбцини кутової – 616×105×105 мм. Маса – 16 кг. Може встановлюватись у різних просторових положеннях.

Функціональні випробування створеного уніфікованого технологічного устаткування виконано [3; 6; 8– 11] під час проведення досліджень із лазерного зварювання контрольних з'єднань різних типів (Рис. 5) і виготовлених із різних матеріалів (Таблиця 1).

За результатами проведених функціональних випробувань створеного технологічного устаткування для виготовлення встановлено відповідність контрольним значенням, параметрів усіх необхідних характеристик створеного устаткування.

Висновки. Створене уніфіковане технологічне устаткування у вигляді спеціалізованих струбцин забезпечує можливість одержання стикових, таврових, кутових і напусткових контрольних зварних з'єднань, що відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 15614-11:2015, зі сталей і сплавів у широкому діапазоні технологічних параметрів та у різних просторових положеннях. Воно може бути рекомендовано для застосування під час атестації технологій лазерного зварювання різноманітних видів матеріалів і вказаних типів зварних з'єднань у різних галузях промисловості.

Таблиця 1

Приклади застосування уніфікованого технологічного устаткування

№ п/п	Матеріал	Товщина зразків, мм	Призначення	Види контрольних зварних з'єднань
1	Низьколегована конструкційна сталь 09Г2С	3,0 та 4,0	Типові елементи конструкції критих вантажних залізничних вагонів	Стикові, напусткові та таврові
2	Алюмінієвий сплав АМг6	2,0	Макетний зразок новітньої конструкції паливного баку для космічної техніки	Стикові, напусткові, кутові та таврові
3	Корозійностійка нержавіюча сталь AISI 321	0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 3,0	Елементи конструкції макетних зразків ракетно-космічної техніки	Стикові, напусткові, кутові та таврові

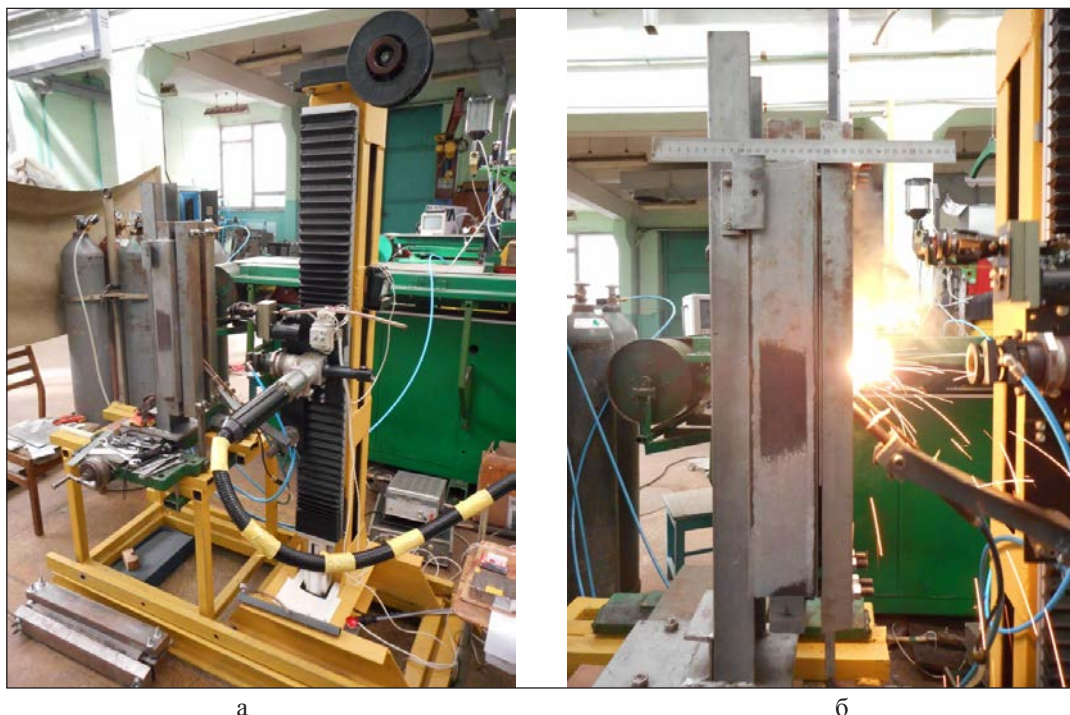


Рис. 5. Функціональні випробування створеного технологічного устаткування для виготовлення таврових контрольних зварних з'єднань: а – устаткування закріплене та адаптоване з елементами лабораторного стану для лазерного зварювання у різних просторових положеннях [3; 8– 11]; б – процес зварювання

Список літератури:

1. Reitemeyer D. Laser welding of large scale stainless steel aircraft structures. *Physics Procedia*. 2013. Vol. 41. P. 106–111. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.151>
2. Kovács A. Integrated task sequencing and path planning for robotic remote laser welding, *International Journal of Production Research*. 2016. No 54 (4) P. 1210–1224. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1057626>.
3. Бернацький А.В., Шелягін В.Д., Сидорець В.М., Сіора О.В., Шуба І.В., Набок Т.М. Розробка обладнання та створення апаратно-програмного забезпечення реалізації процесу лазерного зварювання конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). № 5. Ч. 1. С. 1–5. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/01>
4. Viňáš J., Ábel M. Analysis of laser welds on automotive steel sheets *Material Science Forum*. 2015. Vol. 818. P. 239–242. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.818.239>.
5. Sohail M., Han S. W., Na S.J., Gumenyuk A., Rethmeier M. Numerical investigation of energy input characteristics for high-power fiber laser welding at different positions. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015. Vol. 80. P. 931–946. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7066-6>.
6. Markashova L., Berdnikova O., Alekseienco T., Bernatskyi A., & Sydorets V. Nanostructures in Welded Joints and Their Interconnection with Operation Properties. *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings*. P. 119–128. 2019. Springer, Singapore. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_12.
7. Chang B., Yuan Z., Pu H., Li H., Cheng H., Du D., Shan J. A. Comparative Study on the Laser Welding of Ti6Al4V Alloy Sheets in Flat and Horizontal Positions. *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 376. URL: <https://doi.org/10.3390/app7040376>.
8. Коваленко А.Н., Кирсанов Д.В., Миросиди Н.А., Шелягин В.Д., Сиора А.В., Бернацкий А.В. Разработка новой технологии изготовления сопловых блоков без использования пайки. *Космическая техника. Ракетное вооружение. Space technology. Missile armaments*. 2018. 2. С. 68–76. URL: <https://doi.org/10.33136/stma2018.02.068>.
9. Bernatskyi A.V., Berdnikova O.M., Klochkov I.M., Sydorets V.M., Chinakhov D.A. Laser welding in different spatial positions of T-joints of austenitic steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 582. P. 012–048. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/582/1/012048>.
10. Shelyagin V., Khaskin V., Bernatskyi A., Siора A., Sydorets V., Chinakhov D. Multi-Pass Laser and Hybrid Laser-Arc Narrow-Gap Welding of Steel Butt Joints. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 927. P. 64–71. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.927.64>.
11. Позняков В.Д., Маркашова Л.І., Шелягін В.Д., Жданов С.Л., Бернацький А.В., Берднікова О.М., Сидорець В.М. Опір утворенню холодних тріщин стикових з'єднань високоміцних сталей, одержаних дуговим, лазерним та гібридним лазерно-дуговим зварюванням. *Проблеми міцності*. 2019. No 6. С. 36–47.

Bernatskyi A.V., Sheliagin V.D., Sydorets V.M., Siора O.V., Nabok T.M., Kurilo V.A., Suchek O.M.
CREATING UNIFIED LASER TECHNOLOGY EQUIPMENT FOR STANDARDIZED WELDED JOINTS

Laser welding technologies are widely used in electronic engineering, automotive, nuclear, space, aviation, shipbuilding and other industries. Such a variety of industrial applications of laser welding technology requires unification in the manufacture of welded joints for testing. However, the results of the studies are quite different and not subject to systematization. Solving the problem of creating specialized technological equipment for the manufacture of welded joints for testing not previously been given enough attention. In accordance with the DSTU EN ISO 15614-11:2015 “Technical conditions and certification of technology of welding of metal materials. Testing of welding processes. Part II. Electron-beam and laser-beam welding” standard, preparation to certification for laser welding technology requires the production of test specimens of welded joints of certain shapes and sizes. Therefore, there is a problem of designing, manufacturing and testing the necessary technological equipment. The purpose of the work was to create unified technological equipment for the preparation of welded joints for further certification of laser welding technology. Design documentation (sketch design) of technological equipment for production of tested T-, angular, butt and overlap welded joints from different materials has been developed. According to the sketch design clamps were made, by means of which the welded joints (butt and overlap; T-; angular) for testing were obtained. Functional tests of the created unified equipment were carried out during the research of laser welding of tested samples of different types and made of different materials. According to the results of the functional tests of the created technological equipment, compliance with the certain values of the parameters of all necessary characteristics is revealed.

Key words: laser welding, certification of technology, technological equipment, welding joints, testing.

Нагнибеда Н.Н.

Приазовский государственный технический университет

Кухарь В.В.

Приазовский государственный технический университет

Ткачев Р.О.

Приазовский государственный технический университет

Радушев О.О.

Приазовский государственный технический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ГНУТЫХ И ГНУТО-СВАРНЫХ АРМИРУЮЩИХ ПРОФИЛЕЙ ОДНОГО ТИПОРАЗМЕРА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

У статті наведені результати випробувань на поперечний вигин армуючих профілів однакового типорозміру двох варіантів виготовлення. Були проведені випробування зразків із профілів, виготовлених за технологією багатовалкового гнуття профілю замкнутого перетину з наявністю зазору на стороні 50 мм і за технологією з формуванням поздовжнього зварного шва після гнуття на стороні 40 мм. Удосконалено методику експериментальних досліджень холодногнутих профілів на поперечний вигин прикладеною силою із безперервним відеозаписом процесу.

Виконано статистичну обробку результатів вимірювань товщини стінок, наданих для випробування армуючих профілів. Отримано графічні та аналітичні залежності величини прогину профілю за варіантами навантаження на більшу і меншу стінки від величини навантаження. З аналізу графічних залежностей виявлено, що, незважаючи на меншу, на 4,8% товщину армуючого профілю ПГЗ порівняно з профілем ПГ, величина прогину для найбільш несприятливого випадку навантаження (на більшу сторону) зменшується на 59%, а при навантаженні на меншу сторону прогин знижується на 0,7%.

Після обробки експериментальних результатів отримано степенні рівняння регресії для різних умов навантаження зразків на більшу і меншу стінки. Встановлено, що виготовлення армуючих профілів у гнуто-звареному виконанні має переваги за показниками жорсткості перед профілями, виготовленими в гнутому виконанні. Для найбільш несприятливого варіанта навантаження профілю на більшу сторону, коли незварений проміжок знаходиться на його боці, варіант формування зварного шва дає поліпшення показника жорсткості не менше ніж на 50%.

Ключові слова: гнуття, багатоперехідне гнуття, профіль, армуючий профіль, випробування, зварювання, зварений шов, триточковий вигин.

Постановка проблеми. Процесс формирования профилей из стальных холоднокатаных заготовок имеет большое значение во многих отраслях промышленности, таких как судостроение, машиностроение, строительство каркасных конструкций. Из-за распространенности и растущего спроса на армирующий профиль становятся более жесткими и требования к геометрическим и прочностным параметрам такого вида продукции, требующие постоянных исследований в этом направлении. Процессом формирования армирующих профилей с необходимыми геометрическими параметрами является изгиб заготовок на многовалковых прокатных станах [1; 2].

Контролю качества этой продукции уделяется особое внимание из-за высокой значимости сферы их применения. Поэтому актуальным остается развитие экспериментальных исследований, позволяющих выявить изменения эксплуатационных свойств профилей при доработке их конструкции или усовершенствовании технологии их производства.

Анализ последних исследований и публикаций. Подобные экспериментальные исследования с учетом геометрических параметров и свойств материала проводятся постоянно, однако в работах не описывается в достаточной мере поведение заготовок сложной формы, подтверждающая

необходимость в подобного рода работах [3–5]. Исследования для получения комплексных характеристик прочности и жесткости проводятся и для сварных изделий с учетом материала заготовок, однако они также не учитывают формы конечного изделия [6; 7]. Были проанализированы возможности внедрения полученных экспериментальных данных для многопереходной гибки [8].

Существующая на текущий момент информация, связанная с испытаниями холоднугнутых профилей, не дает возможности прогнозировать поведение конечных изделий при их нагружении внешними силами. Перспективным в этом направлении станет интеграция конечно-элементного моделирования при прогнозировании поведения заготовок и проектировании технической документации.

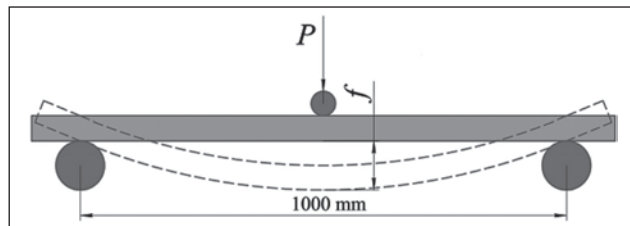
Постановка цели исследования. Целью работы является определение различий в комплексных эксплуатационных характеристиках прочности, жесткости и устойчивости стального армирующего профиля типоразмера № 40*50 (40 мм х 50 мм), изготовленного многопереходной гибкой стальной полосы на профилегибочном стане в профиль полузамкнутого пересечения с зазором между кромками не больше 0,5 мм вдоль стороны, которая имеет размер 40 мм (профиль ПГ) и профиля, изготовленного многопереходной гибкой стальной полосы в профилегибочном стане в замкнутый профиль и последующей сваркой кромок с формированием продольного сварного шва посередине стороны, имеющей размер 50 мм (профиль ПГС). Сравнение этих видов профилей с зазором и наличием сварочного шва позволит увидеть различия в поведении изделий похожего поперечного сечения и отличных толщин, эффективных объемов материала, необходимых для производства продукции.

Изложение основного материала исследования. Для проведения экспериментального исследования профили для испытаний (рис. 1 и рис. 2) были предварительно осмотрены и подготовлены. Профили не имели никаких дефектов, видимых невооруженным глазом. Из каждого типа профиля с помощью ножовки по металлу были вырезаны по три образца профиля с длиной 1000 мм. Для измерения толщины использовался электронный штангенциркуль, прошедший метрологическую поверку в установленные сроки. Были проведены измерения толщины стенок заготовок и выполнена статистическая обработка данных по соответствующей методике [9–11]. Было проведено 10 замеров толщины стенки заготовок для каждого вида

профиля. Установлено, что профили ПГ типоразмера № 50x40 имели среднюю толщину стенки 1,936 мм, а профили ПГС типоразмера № 50x40 – среднюю толщину стенки 1,843 мм.



Основным определяющим параметром, характеризующим жесткость и прочность профиля, является прогиб профиля при изгибе поперечной силой. Для испытаний был выбран метод поперечного (трехточечного) изгиба (рис. 4). Этот метод подходит для контрольных и сравнительных испытаний.



По принципу, указанному на рис. 3, была разработана методика испытаний с применением экспериментальной установки, приведенной на рис. 4. В качестве испытательной машины, обеспечивающей нагрузку профиля поперечной силой через цилиндрическую подставку диаметром 5,9 мм, использовали разрывную машину УММ-10 с предельной нагрузкой 100 кН. В качестве прибора, фиксирующего прогиб профиля, был выбран механический тензомер часового типа от переносного динамометра (рис. 5). Для фиксации данных показателей силы P использовали встроенную в УММ-10 шкалу, изменения показаний на которой в течение всего эксперимента фиксировала камера, установленная напротив.

Таковую же схему использовали для наблюдения за прогибом профиля f , фиксируя данные тензомера динамометра ДОСМ-33 с помощью второй камеры. Для фиксации показаний приборов использовали камеры высокого разрешения. Было

проведено по три измерения с полной фиксацией событий для каждого вида и сечения профиля (нагрузкой на шов, на стык и на боковые грани).



Рис. 4. Установка для проведения экспериментального исследования



Рис. 5. Динамометр образцовый переносной ДОСМ-33

Для обработки результатов эксперимента по определению силы и прогиба профилей при нагрузке поперечной силой было использовано вспомогательное программное обеспечение (ПО) DaVinci Resolve 15 и Microsoft Excel.

ПО DaVinci Resolve 15 использовали для синхронизации обеих камер. Полученные данные с видео позволили сопоставить изменения значения силы P и прогиба профиля f с течением времени, по которому были построены графические зависимости, приведенные на рис. 6 и рис. 7. После обработки полученных графических зависимостей прогиба от силы нагрузки были получены уравнения регрессии (линии тренда). Установлено, что наиболее корректно зависимость прогиба от величины нагрузки описывают степенные уравнения с коэффициентом детерминации ($R^2 > 0,95$):

1) для профиля ПГ:

$$f = 0,0644 \cdot P(50)^{0,6452}, \quad (1)$$

$$f = 0,0249 \cdot P(40)^{0,6524}, \quad (2)$$

2) для профиля ПГС:

$$f = 0,0151 \cdot P(50)^{0,7465}, \quad (3)$$

$$f = 0,0275 \cdot P(40)^{0,6355}, \quad (4)$$

Используя выражения (1–4), можно охарактеризовать жесткость армирующих профилей, задавшись фиксированной величиной силы – 500 Н. В результате расчета было получено величины прогибов f , соответствующие нагружению профиля, расположенного на двух опорах, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга, поперечной силой, приложенной посередине длины профиля. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

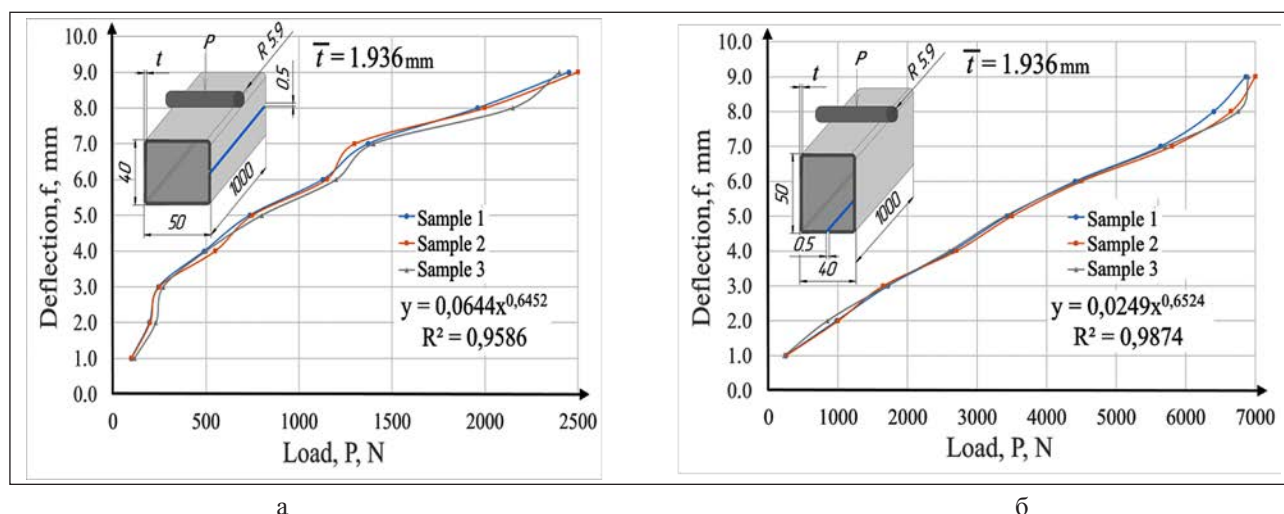


Рис. 6. Экспериментальный график результатов испытаний на поперечный прогиб сосредоточенной силой профилей типоразмера № 40x50 ($t = 1,936$ мм) гнутого исполнения (ПГ): а) приложения силы $P(50)$ к большей стороне профиля; б) приложения силы $P(40)$ к меньшей стороне профиля

Гнуто-сварной профиль ПГС показывает лучшие характеристики жесткости, чем гнутый ПГ, несмотря на меньшую толщину стенки (толщина стенки профиля ПГС на 4,8% меньше, чем профиля ПГ). Худшие показатели жесткости имеет профиль, гнутый ПГ при нагрузке на большую сторону.

Выводы. Усовершенствована методика экспериментальных исследований холодногнутого профиля на поперечный изгиб приложенной силой с непрерывной видеозаписью процесса испытаний для получения зависимости между величиной нагрузки и прогибом профиля. Предварительно выполнена статистическая обработка результатов измерений толщины стенок, предоставленных для испытаний армирующих профилей. Выявлено, что средняя величина толщины стенок гнутого профиля ПГ на 4,8% больше, чем в профилях ПГС гнуто-сварного исполнения, а отклонения толщины от среднего значения соответствуют закону нормального распределения.

Получены графические и аналитические зависимости величины прогиба профиля при вариан-

тах нагрузки на большую и меньшую стенки от величины нагрузки. Из анализа графических зависимостей выявлено, что, несмотря на меньшую, на 4,8% толщину армирующего профиля ПГС по сравнению с профилем ПГ, величина прогиба для наиболее неблагоприятного случая нагрузки (на большую сторону) уменьшается на 59%, а при нагрузке на меньшую сторону прогиб снижается на 0,7%.

Таким образом, наличие сварного шва усиливает параметры жесткости профиля. Выполнение армирующих профилей в гнуто-сварном исполнении позволит достичь необходимых параметров жесткости профиля при уменьшении толщины исходной заготовки, то есть экономии металла заготовки. Установлено, что изготовление армирующих профилей в гнуто-сварном исполнении имеет преимущества по показателям жесткости перед профилями, изготовленными в гнутом исполнении. Для наиболее неблагоприятного варианта нагрузки профиля на большую сторону, когда не сваренный зазор находится на его боковой стороне, вариант формирования сварного шва дает улучшение показателя жесткости не менее чем на 50%.

Таблица 1

Величины прогибов f армирующих профилей при нагрузке фиксированным весом $P = 500$ Н и величины сил P , необходимые для деформации армирующих профилей на фиксированную величину прогиба $f = 1,5$ мм

Исполнение профиля, толщина стенки t , мм	Вариант приложения нагрузки при испытании	Прогиб f , мм, при нагружении $P = 500$ Н	Сила P , Н при прогибе профиля на $f = 1,5$ мм
ПГ $t = 1,936$ мм	К большей стороне $P(50)$	3,55	132
	К меньшей стороне $P(40)$	1,44	534
ПГС $t = 1,843$ мм	К большей стороне $P(50)$	1,56	474
	К меньшей стороне $P(40)$	1,43	540

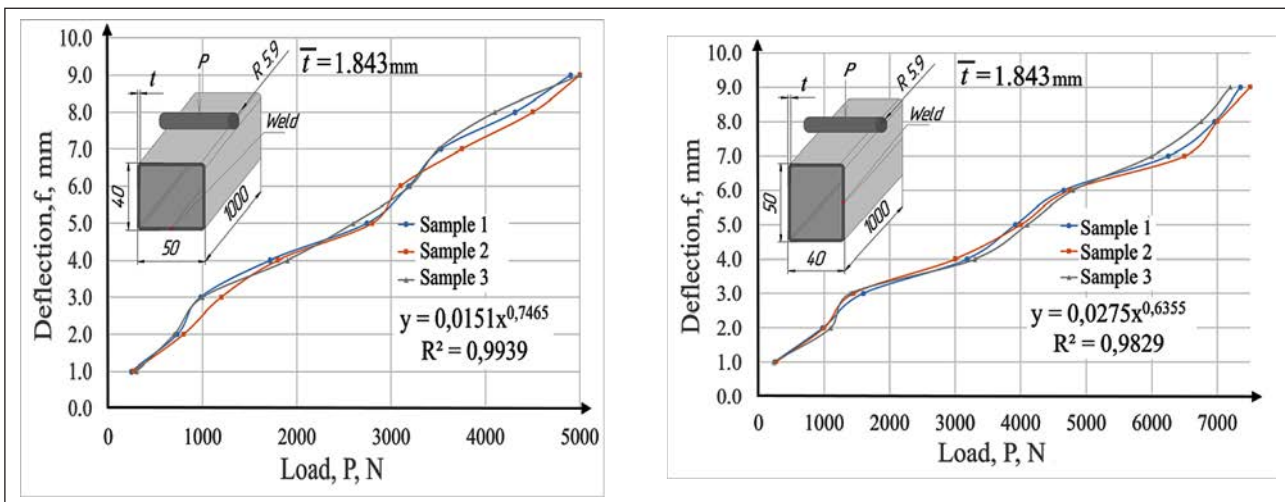


Рис. 7. Экспериментальный график результатов испытаний на поперечный прогиб сосредоточенной силой профилей типоразмера № 40x50 ($t = 1,843$ мм) гнуто-сварного исполнения (ПГС): а) приложения силы $P(50)$ к большей стороне профиля; б) приложения силы $P(40)$ к меньшей стороне профиля

Список літератури:

1. Кухар В.В., Анищенко О.С., Нагнибеда Н.Н. Методика розрахунку напружено-деформованого стану листової заготовки при гнутті з урахуванням зміцнення матеріалу. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 37(1259). С. 36–41.
2. Кухарь В.В., Нагнибеда Н.Н. Испытание армирующих профилей и определение их прочностных и геометрических характеристик. Проблемы трибологии. Хмельницький ХНУ, 2016. № 1(79). С. 30–35.
3. Rejzner J., Lexcellent C., Raniecki B. Pseudoelastic behaviour of shape memory alloy beams under pure bending: experiments and modelling. International Journal of Mechanical Sciences, 2002. № 44. P. 665–686.
4. Bilston D., Ruan D., Candido A., Durandet Y. Parametric study of the cross-section shape of aluminium tubes in dynamic three-point bending. Thin-Walled Structures, 2019. № 136. P. 315–322.
5. Nelson T., Bruton J., Rieske N., Walton M., Fullwood D., Howel L. Material selection shape factors for compliant arrays in bending. Materials & Design, 2016. № 110. P. 865–877.
6. Sun Y., He A., Liang Y., Zhao O. In-plane bending behaviour and capacities of S690 high strength steel welded I-section beams. Journal of Constructional Steel Research, 2019. № 162. p. 105–741.
7. Ahola A., Björk T., Barsoum Z. Fatigue strength capacity of load-carrying fillet welds on ultra-high-strength steel plates subjected to out-of-plane bending. Engineering Structures, 2019. № 196. p. 109–282.
8. Dang X., He K., Zhang F., Zuo Q., Du R. Multi-stage incremental bending to form doubly curved metal plates based on bending limit diagram. International Journal of Mechanical Sciences, 2019. № 159. P. 19–30.
9. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ДСТУ ГОСТ 8.207:2008. [Чинний від 2008-10-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 8 с.
10. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. Москва : Высшая школа, 1972. 368 с.
11. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. Москва : Статистика, 1978. 248 с.

Nahnybeda N.N., Kukhar V.V., Tkachev R.O., Radushev O.O. EXPERIMENTAL RESEARCH OF BENT AND BENT-WELDED REINFORCEMENT ONE-SIZE SECTIONS STIFFNESS AT THE CROSS-BENDING TEST

The article presents the results of tests for cross-bending of reinforcing profiles of the one-size of two manufacturing options. There were tested samples from profiles made using multi-roll bending-forming technology into a closed section profile with a gap on the side of 50 mm, and on technology with the formation of a longitudinal weld after bending on the side of 40 mm. The technique of experimental studies of cold-formed sections for lateral bending by applied force with continuous video recording of the process has been improved. Statistical processing of the results of measurements of the wall thickness provided for testing reinforcing profiles was performed.

Graphical and analytical dependences of the deflection of the profile are obtained for load options on a large wall and a smaller wall on the load value. From the analysis of graphical dependencies, it was found that, despite a 4,8% smaller thickness of the shape with weld-side as compared to the shape of the gap-side, the deflection for the most unfavorable case of loading (on the larger side) decreases by 59%, and when loading on the smaller side deflection is reduced by 0.7%.

After processing the experimental results, power-law regression equations are obtained for various loading conditions of the samples on the larger and smaller walls. It is established that the manufacture of reinforcing profiles in bent-welded versions has advantages in terms of stiffness indicators over profiles made in bent versions. For the most unfavorable option of loading the profile to the larger side, when the un-welded gap is on its lateral side, the option of forming a weld seam gives an improvement in stiffness by at least 50%.

Key words: bending, multi-pass bending, shape, reinforcing shapes, tests, welding, weld, three-point bending, reinforcement, stiffness.

УДК 502.55

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/04>**Биковець Н.П.**

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

ДОДАТКОВИЙ ШЛЯХ ДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНА

У статті розглядається світова екологічна проблема – глобальне потепління та роль людства у зміні клімату. Глобальне потепління пов'язують із «парниковим ефектом», причиною якого є парникові гази (ПГ), а саме: водяні пари, двооксид вуглецю (CO_2), метан (CH_4), закис азоту (N_2O), хлорфторвуглеводи (ХФУ), аерозолі, які містять сірку. У роботі перелічено наслідки глобального потепління. Визначено основне завдання людства – це утримання глобального потепління на рівні $1,5^\circ\text{C}$. З аналізу останніх досліджень і публікацій випливає, що майже 70% шкідливих викидів планета отримує від автомобільного транспорту, 15% – припадає на річковий і морський флот й останні 15% включають у себе викиди промислових підприємств, залізничного транспорту та вулканічної діяльності. Розглянуто вплив водного транспорту на зміну клімату та відповідні нормативні документи, які регулюють ці зміни. Визначено, що відповідна галузь має великий потенціал у зниженні викидів двооксиду вуглецю. У статті підкреслюється значущість конструктивного індексу двооксиду вуглецю, який був введений із метою підвищення ефективності, екологічності судна та для виконання вимог Міжнародної морської організації. Зазначено додаткове джерело утворення двооксиду вуглецю – під час спалювання шламу на водному транспорті. Вказано причини формування шламу та льяльних вод на судах. Зроблено екологічну оцінку проблеми обробки та утилізації вод, що містять нафтопродукти, під час експлуатації морських і річкових суден. Перелічено найбільш поширені методи та установки для очищення льяльних вод. Відповідно, представлено схему очищення льяльних і підсланевих вод від паливно-мастильних матеріалів (ПММ) на морських і річкових судах за допомогою установки флотації. Надано характеристику процесу очищення методом флотації. Запропоновано рішення з модернізації роботи наданої схеми установки – встановлення відцентрового сепаратора після другої секції установки флотації. Це дасть можливість відділити паливо для подальшого його транспортування в сервіс-танки головного та допоміжних двигунів. Окреслено шляхи зменшення викидів двооксиду вуглецю під час спалювання шламу.

Ключові слова: парникові гази, двооксид вуглецю, льяльні та підсланеві води, установка флотації, відцентровий сепаратор.

Постановка проблеми. Світова спільнота з числа екологічних проблем на перше місце ставить зміну клімату – один з основних сучасних викликів. Клімат Землі за останні 200 млн років безперервно змінювався, але особливо швидко відбуваються ці зміни протягом останнього століття. Причиною зміни клімату Землі є глобальне потепління, яке пов'язане з «парниковим ефектом», до якого призводять так звані парникові гази (ПГ): водяні пари, двооксид вуглецю (CO_2), метан, закис азоту, хлорфторвуглеводи, аерозолі, що утворюються під час спалювання палива, яке містить сірку. За результатами проведених досліджень Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) виявлено таке [1]:

– у період 1880-2012 років середня глобальна температура підвищилася на $0,85^\circ\text{C}$;

– відбулося потепління океанів, скоротився об'єм льоду та снігу, що призвело до підвищення рівня моря. В період 1901-2010 років через танення льоду середньосвітовий рівень моря підвищився на 19 см. Починаючи з 1979 року об'єм льодового покриву в Арктичному океані скорочувався в кожному десятилітті на $0,45\text{-}0,51$ млн кв. км;

– з урахуванням наявної концентрації ПГ та їхніх тривалих викидів до кінця цього століття середня глобальна температура підвищиться на $1\text{-}2^\circ\text{C}$ порівняно з рівнем 1990 року й на $1,5\text{-}2,5^\circ\text{C}$ порівняно з доіндустріальною епохою. За оцінками, до 2065 року середньосвітовий рівень моря

підвищиться на 24-30 см, а до 2100 року – на 40-63 см порівняно з рівнем 1986-2005 років. Більшість наслідків зміни клімату зберігатимуться протягом кількох століть, навіть якщо викиди ПГ повністю припиняться.

Основним завданням людства є утримання глобального потепління на рівні 1,5°C. У жовтні 2018 року МГЕЗК опублікувала Спеціальну доповідь про глобальне потепління на 1,5°C [2]. У доповіді висвітлюється низка наслідків зміни клімату, яких можна було б уникнути, обмеживши глобальне потепління 1,5°C порівняно з 2°C, або більше того. Наприклад, до 2100 року глобальне підвищення рівня моря буде на 10 см нижче за глобального потепління на 1,5°C порівняно з 2°C. Правдоподібно, що під час глобального потепління на 1,5°C Північний Льодовитий океан був би вільний влітку від морського льоду один раз у століття, а у разі потепління на 2°C – один раз у десятиліття. Кількість коралових рифів скоротиться на 70-90% за глобального потепління на 1,5°C, тоді як практично всі вони (> 99%) будуть втрачені під час потепління на 2°C. У доповіді зазначається, що обмеження глобального потепління 1,5°C потребує «швидких і далекоглядних» перехідних процесів, що стосуються земельних, енергетичних, промислових систем, а також будівель, транспорту та міст. Глобальні викиди двоокису вуглецю, що спричинені діяльністю людини, необхідно буде скоротити до 2030 року майже на 45% порівняно з рівнями 2010 року, досягнувши «чистого нуля» приблизно до 2050 року. Це означає, що всі викиди мають бути збалансовані через видалення двоокису вуглецю з повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Близько 70% шкідливих викидів планета отримує від автомобільного транспорту, 15% викидів відводиться на річковий і морський флот, інші 15% – це викиди промислових підприємств, залізничного транспорту, вулканічної активності. Задля скорочення емісії ПГ ще в грудні 1997 року в Кіото (Японія) на третій сесії конференції сторін UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change – рамковій конвенції ООН з питань зміни клімату) був ухвалений Кіотський протокол [3]. У цьому Протоколі сформульовано стратегію з обмеження антропогенної емісії шести ПГ (CO₂ – двооксиду вуглецю, N₂O – закису азоту, CH₄ – метану, ГФВ – гідрофторвуглеводнів, ПФВ – перфторвуглеводнів та SF₆ – гексафториду сірки) для різних країн. Перший період виконання зобов'язань почався в 2008 році і закінчився в 2012 році. Другий період почався 1 січня

2013 року і закінчиться в 2020 році. Учасниками Кіотського протоколу є 192 держави. Серед перелічених вище ПГ в зміні клімату особлива увага приділяється CO₂, джерелами викидів якого є промислове спалювання вугілля, нафти, природного газу, а також транспортні викиди.

Водний транспорт вносить свій вклад у зміну клімату. Він водночас являє собою як проблему, так й її вирішення. Ця галузь має великий потенціал для зниження викидів двооксиду вуглецю. Ні морські, ні авіаційні перевезення не підпадають під дію Кіотського протоколу. Проте в пункті 2 статті 2 Кіотського протоколу вказується, що Сторони, перераховані в додатку I до Протоколу, прагнуть до обмеження або скорочення викидів ПГ, не регульованих Монреальським протоколом, в результаті використання бункерного палива під час повітряних і морських перевезень, діючи відповідно через Міжнародну організацію цивільної авіації (ІКАО) (International Civil Aviation Organization (ICAO)) та Міжнародну морську організацію (International Maritime Organization (IMO)) [4; 5]. Сторонам було запропоновано вести роботу з цих питань через ІМО та ІКАО з урахуванням мандатів і спеціалізованих знань цих організацій.

За дорученням ІМО було проведено дослідження, в результаті яких було встановлено [6], що загальні викиди CO₂ від судноплавства склали в 2009 році приблизно 1 млрд т, що відповідало приблизно 3,3 сукупних викидів CO₂ від спалювання палива. До 2020 року викиди від судноплавства збільшаться більш ніж на 30% – до 1,47 млрд т [7]. У 2003 році частка викидів ПГ від міжнародного судноплавства становила приблизно 1,8 т світових викидів CO₂, а в 2007 році – приблизно 2,7 т [8].

Енергоефективність судна, як відомо, характеризує енергетичні можливості технічного засобу за найменших витрат ресурсів для вироблення енергії. У найпростішому випадку оцінка енергоефективності робиться за комплексним показником якості судової енергетичної установки з урахуванням її витратних і ресурсних показників [9].

Постановка завдання. Мета статті – розгляд можливості скорочення викидів ПГ шляхом зменшення об'єму шламу, що утворюється в процесі очищення судових лляльних вод.

Виклад основного матеріалу дослідження. Підвищення ефективності та екологічності було вивчено на фоні необхідності виконання вимог ІМО, що набули чинності в 2013 році. Дослідження показали, що потенціал для економії енергії великий, а в деяких випадках він досягає 50% [10]. У зв'язку з виниклою проблемою було вве-

дено конструктивний індекс двоокису вуглецю, а також індикатор експлуатаційної ефективності, який визначає ефективність судна по кількості CO₂ в тоннах, викинутого окремою установкою за період рейсу судна на тонну перевезеного вантажу на відстань в 1 милю.

У квітні 2008 року на 57-й сесії Marine Environment Protection Committee (МЕРС) – Комітет з охорони морського середовища (КОМС), було визначено основну мету технічних заходів, в основі якої лежить покращення енергетичної ефективності суден, які будуються, шляхом впровадження вимог щодо конструктивного індексу CO₂ [9]. Вперше в Японії в документі (МЕРС 57/4/12) була представлена розрахункова формула для визначення величини конструктивного індексу CO₂, який вимірюється в г·CO₂/т-милю:

$$\text{Attained design CO}_2 \text{ index} = \frac{C_f \cdot SFC \cdot P}{\text{Capacity} \cdot V_{ref}}$$

де P – номінальна потужність головного двигуна, кВт; SFC – питома ефективна витрата палива цього двигуна, г/кВт·год; C_f – безрозмірний перевідний коефіцієнт, г CO₂/г палива, визначений за вмістом вуглецю в конкретному паливі. У знаменнику формули – добуток величини місткості судна Capacity в т (як місткість передбачалося приймати дедвейт) та максимальної швидкості судна V_{ref} , миль/год.

Отже, крім CO₂, який потрапляє в атмосферу під час спалювання бункерного палива, слід звернути увагу на додаткове джерело його утворення – під час спалювання шламу на водному транспорті.

Шлам на судні утворюється під час очищення нафтовмісних (ляляльних) вод, що є трюмними осадовими відкладеннями, які утворюються на будь-яких суднах внаслідок витoku води, мастила та палива суднової техніки, поживних насосів. Обробка та утилізація ляляльних і підсланевих вод – одне з найважчих завдань. Екологічна небезпека ляляльних вод позначена другим класом нарівні з цементним пилом, електролітами, сірчаною кислотою та іншими агресивними речовинами [11]. На суднах, не обладнаних станціями очищення нафтовмісних вод, ляляльні води повинні перекачуватися у збірну цистерну, зберігатися в ній і періодично здаватися на утилізацію.

Гостро стоїть проблема скидання ляляльних вод, що містять у собі нафтопродукти. В середньому вміст нафтопродуктів у ляляльних водах становить не менше 2000 млн⁻¹ (2000 ppm). Нині, згідно з вимогами Конвенції МАРПОЛ-73/78, вміст нафтопродуктів в очищених ляляльних водах, що

скидаються із суден, не повинен перевищувати 15 млн⁻¹ (15 ppm) [12].

Сьогодні винайдено та застосовується безліч методів очищення, найбільш ефективними з яких є такі [11]:

- очищення флотацією;
- багатоступінчасте очищення з напірною аерацією очищеною рециркулюючою водою;
- ультразвукова кавітація;
- метод термоокислення емульгованих нафтопродуктів;
- відцентрове очищення;
- розділення сепарацією.

У статті розглядається представлена схема очищення ляляльних і підсланевих вод від паливно-мастильних матеріалів (ПММ) на морських і річкових суднах із використанням установки флотації (рис. 1).

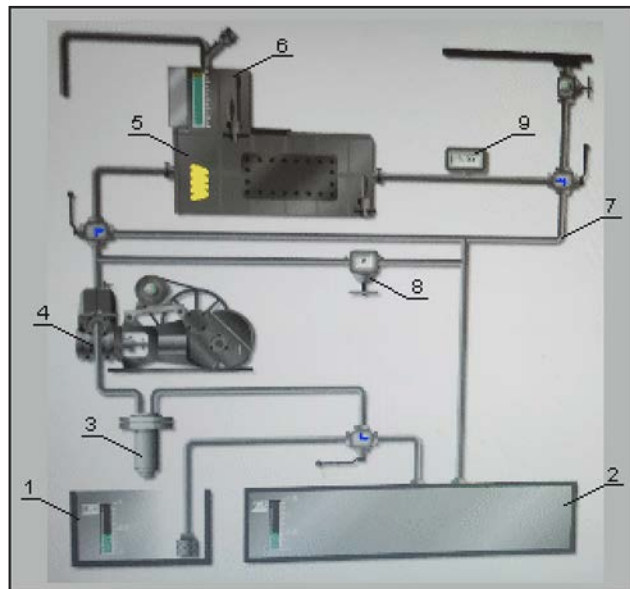


Рис. 1. Схема очищення ляляльних вод методом флотації: 1 – ляляльний колодязь забору насосом ляляльних і підсланевих вод до установки флотації; 2 – система забору лялял з основної цистерни зберігання (танка); 3 – фільтр грубого очищення (стейнер); 4 – поршневий насос, який подає ляляльну та підсланеву воду разом із повітрям через двоходовий клапан до установки флотації; 5 – перша секція установки флотації зі вбудованими підігрівачами; 6 – друга секція установки флотації для адсорбції ПММ із ляляльних і підсланевих вод; 7 – байпас на лінії установки флотації першої секції; 8 – перепускний клапан, що перебуває між насосом і нагнітальною частиною танка зберігання; 9 – моніторинговий пристрій по контролю за вмістом ПММ після очищення в установці флотації

Робота установки за цією схемою здійснюється так: забір ляляльних і підсланевих вод відбувається з танка зберігання лялял (2) або

безпосередньо з лляльного колодязя (1). Двохходовий клапан дає змогу пропустити рідину по системі всмоктування через фільтр грубого очищення (3) до поршневого насоса (4). Звідси рідина разом із повітрям подається в першу секцію установки флоатації (5). Основний принцип очищення лляльних і підсланевих вод від ПММ полягає в їхньому підігріванні та аерації. В результаті нагрівання, води, що містять нафтопродукти, мають гарну властивість обволікати повітряні бульбашки. Питома вага бульбашки значно нижча від питомої ваги води, тому вона прагне піднятися вгору до другої секції установки флоатації (6). Відокремлені в такий спосіб ПММ скупчуються у верхній частині другої камери установки флоатації та відводяться до танку змішаного палива.

Наведена схема не дає можливості повноцінного використання ПММ для спалювання у двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) та парових котлах морських суден. Отже, необхідно почати науковий пошук рішень із модернізації роботи цієї схеми.

Процес флоатації являє собою складний фізико-хімічний процес, який полягає у створенні комплексу «бульбашка-частинка». Коли цей комплекс спливає на поверхню, він утворює пінний шар, в якому вміст забруднювачів набагато вищий, ніж на початку [13; 14]. Під час протікання процесу флоатації найчастіше потік рідини та повітряний потік рухаються в одному напрямі. Зважені забруднюючі частинки розподілені по всьому об'єму рідини, й під час спільного руху з бульбашками вони стикаються та з'єднуються. У тому разі, якщо розмір повітряної бульбашки занадто великий, порівняно з розмірами частинки, відповідно, й швидкість руху бульбашки буде набагато нижчою, що робить процес з'єднання цих елементів практично неможливим. А ще великі бульбашки нерідко стають винуватцями розриву вже наявних зв'язків між бульбашкою та частинкою. Тому в установках флоатації повинні бути бульбашки, які не більші за визначений розмір.

Установка флоатації, яка працює на судні, повинна повною мірою виконувати очищення лляльних і підсланевих вод від ПММ. Та, на жаль, через

кількову та бортову хитавиці виконання процесу очищення ускладнене.

Одним із можливих рішень із модернізації роботи представленої схеми очищення є встановлення відцентрового сепаратора (10) після другої секції установки флоатації (рис. 2).

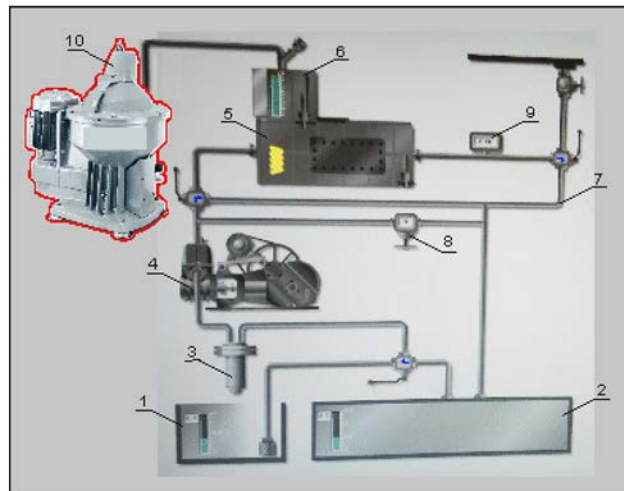


Рис. 2. Модернізація схеми очищення лляльних вод методом флоатації: 1-9 – див. рис. 1; 10 – відцентровий сепаратор.

Висновки. Встановлення сепаратора після другої секції установки флоатації забезпечить відділення та отримання високоякісного палива для подальшого його транспортування в сервіс-танки головного та допоміжних двигунів.

Підбір сепаратора необхідної продуктивності необхідно здійснювати залежно від розмірів судна, потужності силової установки, дизель-генераторів, стану мастильної та паливної систем тощо.

Моніторингова система забезпечить якість вод після обробки, що скидаються в дозволених районах, що, у свою чергу, значно знизить ризик утворення емульсії. Видалення з води емульсованих нафтопродуктів досить складний процес, тому необхідно виключити всі фактори, які сприяють їхньому утворенню.

Зменшення викидів двооксиду вуглецю під час спалювання шламу можна добитися, якщо провести додаткові дослідження з вибору оптимального варіанта конструкції відцентрового сепаратора.

Список літератури:

1. Изменение климата. URL: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/climate-change/index.html> (дата звернення: 08.01.2020).
2. Глобальное потепление на 1,5 °C: Резюме для политиков. Межправительственная группа экспертов по изменению климата. 2019. 26 с. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9958 (дата звернення: 08.01.2020).

3. Сайт свободной энциклопедии «Википедия». URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Киотский_протокол (дата звернення: 08.01.2020).
4. Міжнародна організація цивільної авіації. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (дата звернення: 09.01.2020).
5. Міжнародна морська організація. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (дата звернення: 09.01.2020).
6. Energy Efficiency related Rules and Regulations – EEDI and Ship Design. EEDI and other EEE Rules and Regulations. *Mia Elg*. 2014. 55 p. URL: http://laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Deltamarin_Elg_EE_Rules_and_Regulations_-_EEDI.pdf (дата звернення: 10.01.2020).
7. Fournier A. Controlling Air Emission from Marine Vessels: Problems and Opportunities. *University of California Santa Barbara*. 2006. 91 p. URL: <http://www.ourair.org/itg/past-activities> (дата звернення: 10.01.2020).
8. Anink D., Krikke M. The IMO Energy Efficiency Design Index. A Netherlands Trend Study. Centre for Maritime Technology and Innovation, 2009. 52 p.
9. Иванченко А.А., Живлюк Г.Е. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2015. № 3 (31). С. 103–112. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-103-112.
10. Boletis E. Integrated Propulsion Systems. The CIMAC Circle at the 2012 SMM. 2012. 34 с. URL: http://www.cimac.com/congress_events/events-1.asp (дата звернення: 10.01.2020).
11. Сайт компании «Cribrol». Очистка (разделение) льяльных вод. 2012. URL: <http://composite-lab.ru> (дата звернення: 15.01.2020).
12. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата звернення: 15.01.2020).
13. Флотационные установки. URL: https://www.promstok.com/articles/ochistnye-sooruzheniya/flotatsionnaya_ochistka_stochnykh_vod/ (дата звернення: 17.01.2020).
14. Вилавский Е.И., Масакбаева С.Р, Баймухамбетова М.Г. Интенсификация процессов флотационной очистки промышленных сточных вод от нефтепродуктов. *Universum: Технические науки* : электрон. научн. журн. 2016. № 11 (32). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3882> (дата звернення: 17.01.2020).

Bykovets N.P. AN ADDITIONAL WAY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS WHILE OPERATING THE SHIP

The article deals with the global environmental problem – global warming and the role of humanity in climate change. Global warming has been linked to the greenhouse effect caused by greenhouse gases (GHG), namely: water vapor, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), Chlorofluorocarbons (CFCs), sulfur-containing aerosols. The effects of global warming are listed in the article. The defining basis for humanity is to keep global warming at level 1.5 °C. The analysis of recent researches and publications shows that almost 70% of the planet's emissions are from road transport, 15% are from river and sea fleets, and the last 15% include emissions from industrial enterprises, rail transport and volcanic activity. The impact of water transport on climate change and the relevant regulations governing these changes are examined. It has been identified that the relevant industry has great potential for reducing carbon dioxide emissions. The importance of the constructive carbon dioxide index, which was introduced to improve the ship's efficiency, environmental friendliness and to meet the requirements of the International Maritime Organization, is emphasized in the article. An additional source of carbon dioxide formation when burning sludge in water transport is mentioned. The reasons for the formation of sludge and bilge water on ships are indicated. An environmental assessment of the problem of treatment and recycling of water containing petroleum products during the operation of sea and river vessels was made. The most common methods and installations for bilge water treatment are listed. Accordingly, the article presents a scheme for cleaning bilge and under-shale waters from combustive-lubricating materials (CLM) on board of sea and river vessels using a flotation unit. The process of flotation purification is described. The solution to modernize the operation of the provided installation scheme – installation of a centrifugal separator after the second section of the flotation installation is proposed. This will allow separating the fuel for further transportation to the service tanks of the main and auxiliary engines. Ways to reduce carbon dioxide emissions from sludge combustion are outlined.

Key words: *greenhouse gases, carbon dioxide, bilge and under-shale waters, flotation unit, centrifugal separator.*

Бойко С.М.

Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Метою роботи є розроблення методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах гірничорудних підприємств. Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зважаючи на те, що на гірничорудних підприємствах актуальним є впровадження в загальну структуру систем електроживлення джерел розосередженої генерації, актуальним є і питання визначення потенціалу розосереджених джерел енергії. Беручи до уваги наведені у статті результати досліджень і результати досліджень, отримані раніше, можна зробити висновок про те, що використання відновлювальних джерел енергії в умовах залізорудних видобувних комплексів є реальним і для оцінки можливості використання джерел розосередженої генерації, можна використовувати програмний пакет Homer energy. Режими роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств мають вплив на режим електроспоживання всього підприємства. Для визначення оптимальних режимів роботи джерел розосередженої генерації в умовах гірничорудних підприємств за критеріями економічності та ефективності пропонуємо використати запропонований підхід, що описаний алгоритмом. Такий підхід дає змогу визначити фактори та критерії для оптимізації функціонування відновлювальних джерел енергії, що функціонують у складі джерел розосередженої генерації. Метод дає змогу визначити потенціал розосереджених джерел енергії під час впровадження їх до структури гірничорудних підприємств. Використання програми Homer energy дасть змогу виконати попереднє оперативне визначення потенціалу системи електропостачання ділянки гірничорудного підприємства під час впровадження джерел розосередженої генерації.

Ключові слова: розосереджені джерела енергії, електропостачання підприємств, програма Homer energy, оптимізація режимів роботи, визначення потенціалу розосереджених джерел енергії.

Постановка проблеми. Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30% від вартості її вироблення.

Наявні методики для проектування системи електропостачання віддалених споживачів переважно розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню, електропостачання шляхом генерації електроенергії на базі джерел розосередженої генерації (ДРГ) або шляхом використання котелень, дизель-генераторів.

Утім, освоєння потенціалу ДРГ – це технічно важкорезалізоване нині завдання, яке пов'язане з низькою щільністю потоку енергії від ДРГ і залежністю їх від природних умов. Вартість отримання енергії, хоча вона і щорічно знижується, залишаються значно вищою, ніж у тради-

ційних енергоресурсів, а необхідних кардинальних технічних рішень поки немає.

Технологічне об'єднання енергії ДРГ і енергії вуглеводневого палива в одній системі має суттєві техніко-економічні переваги. Ця перевага полягає у високій енергетичній ефективності, недосяжній в наявних системах енергопостачання, в простоті інтеграції з додатковими генеруючими потужностями на основі ДРГ з будь-яким ступенем заміщення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій [1–6] показав, що енергопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії у складі джерел розосередженої генерації є ефективним і доцільним. Низка авторів [7–10] розглядають шляхи визначення потенціалу ДРГ, однак вони не враховують умови роботи споживачів електричної енергії та режими роботи розподільних електричних мереж.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах гірничорудних підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для визначення потенціалу відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), що входять до складу джерел розосередженої генерації (ДРГ) в умовах ГРП, необхідно мати як можна повніші і чіткі дані про електропостачання (ЕП) і електроспоживання навантаження (ЕС) електрообладнанням (ЕО) залізничного підприємства (ЗРП) протягом доби, а також наявність даних про витрати електричної енергії (ЕЕ) в електромережі (ЕМ) ЕП і ЕС.

Наступним кроком є аналіз ЕС ЕЕ насосами під час відкачування води протягом доби в різних тарифних зонах та інтервалах часу з урахуванням режимів використання насосів різних типів (різної потужності), в умовах не використання ВДЕ, що входять до складу ДРГ, до оптимізації графіка роботи насосів, обчисливши сумарну спожиту ЕЕ насосами за формулою:

$$(C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ розр}$$

Потім необхідно виконати необхідні розрахунки ЕС ЕЕ насосами ЗРП за оптимізації графіка роботи насосів протягом доби за формулою:

$$(C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ оптим}$$

Якщо після оптимізації графіка роботи насосів ЕС ЕЕ є меншим, ніж до оптимізації (так)

$$(C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ розр} > (C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ оптим}$$

то переходять до іншого етапу – аналіз витрат ЕЕ, а якщо нерівність не виконується (ні), то повертається до аналізу ЕС ЕЕ насосами ЗРП до оптимізації графіка роботи насосів.

Після обчислення витрат ЕЕ в ЕМ до використання ВДЕ, що входять до складу ДРГ в умовах ЗРП ($\sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau}$), та витрат ЕЕ в ЕМ після впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ в умовах ЗРП ($\sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau}$), та порівняння їх $\sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau} < \sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau}$ під час виконання нерівності (так) переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то повертаються на початок аналізу витрат ЕМ.

Потім обчислюють вартість можливої закумуляованої ЕЕ ГАЕС протягом тарифної зони «ніч» (S_3) за формулою:

$$B_3^{IAEC} = (W_{IAEC_3}^{\tau} \cdot \eta_3) \cdot k_3 \cdot T$$

та вартості переданої в ЕМ ЕС ЗРП від ГАЕС протягом тарифних зон «пік» (S_1) і «ⁿ/пік» (S_2) за формулою:

$$B_1 + B_2 = \sum (W_{IAEC_1}^{\tau} \cdot \eta_1) \cdot k_1 \cdot T + \sum (W_{IAEC_2}^{\tau} \cdot \eta_2) \cdot k_2 \cdot T$$

Якщо виконується нерівність (так) ($B_3^{IAEC} < (B_1^{IAEC}) + (B_2^{IAEC})$), то переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то переходять до попередніх етапів обчислення вартості закумуляованої та переданої ЕЕ в ЕМ ЕС ЗРП.

На цьому етапі обчислюють вартість закумуляованої ЕЕ акумуляторними батареями (АБ) протягом тарифної зони «ніч» (S_3) за формулою:

$$B_3^{AB} = \sum (W_{AB_3}^{\tau} \cdot \eta_3) \cdot k_3 \cdot T$$

та вартості ЕЕ, переданої в ЕМ ЕС ЗРП від АБ протягом тарифних зон «пік» (S_1) і «ⁿ/пік» (S_2) за формулою:

$$B_1^{AB} + B_2^{AB} = \sum (W_{AB_1}^{\tau} \cdot \eta_1) \cdot k_1 \cdot T + \sum (W_{AB_2}^{\tau} \cdot \eta_2) \cdot k_2 \cdot T$$

Якщо виконується нерівність (так) ($B_3^{AB} < (B_1^{AB}) + (B_2^{AB})$), то переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то переходять до попередніх етапів обчислення вартості закумуляованої та переданої ЕЕ в ЕМ ЕС ЗРП.

Обчислення та аналіз ЕС і ЕП згенерованого сумарного потенціалу ДРГ виконуються за формулою:

$$\sum W_{ji}^{\tau} = \sum W_{\text{спож. рС}}^{\tau} + \sum W_{\text{спож. бС}}^{\tau} + \sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau} + \sigma_s^{\tau} \cdot \sum W_{\text{ГАЕС, сС}}^{\tau} \cdot \tau_s^{\tau} + \gamma_s^{\tau} \cdot \sum W_{\text{АБ, сС}}^{\tau} \cdot \eta_s^{\tau} - \sum W_{\text{ЗЕМ, S}}^{\tau}$$

Потім обчислюють рівень ЕП ЕЕ із зовнішньої електромережі (ЗЕМ) в різних тарифних зонах (S) за формулою:

$$\sum W_{\text{ЗЕМ, S}}^{\tau} = \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_1}^{\tau} + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_2}^{\tau} + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_3}^{\tau}$$

Обчислюють вартість спожитої ЕЕ обладнанням ЗРП із ЗЕМ протягом доби по різних тарифних зонах (S) за формулою:

$$B_{\sum \text{ЗЕМ, S}}^{\tau} = B_{\sum \text{ЗЕМ, S}_1}^{\tau} + B_{\sum \text{ЗЕМ, S}_2}^{\tau} + B_{\sum \text{ЗЕМ, S}_3}^{\tau} = \sum W_{\text{ЗЕМ, S}}^{\tau} = \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_1}^{\tau} \cdot k_1 \cdot T + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_2}^{\tau} \cdot k_2 \cdot T + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_3}^{\tau} \cdot k_3 \cdot T$$

та сумарної вартості можливої згенерованої ЕЕ ДРГ у умовах ЗРП ($B_{\sum \text{ВДЕ}}$). Якщо виконується рівність (так)

$$B_{\sum \text{ВДЕ}} = B_{\sum \text{спож. облад.}} + B_{\sum \text{спож. насос.}} + B_{\sum \text{втр.}} - B_{\sum \text{ЗЕМ}} - B_{\sum \text{АВ}}$$

то переходимо до наступного стану, якщо не виконується (ні), то переходять до попереднього етапу (обчислення ЕП із ЗЕМ).

Потім необхідно з'ясувати можливості короткочасного мінімального забезпечення ЕС ЕО ЗРП, якщо ЕП із ЗЕМ недостатнє ($W_{ЗЕМ} \rightarrow 0$), тобто $W_{\Sigma ВДЕ} = \sum_{\text{стож.обл.}}^{\min}$, та резервно необхідного рівня електрозабезпечення ЕС ЗРП в критичних умовах, коли ЕП із ЗЕМ $W_{ЗЕМ} = 0$, тобто $W_{\text{рез.необх}} \leq W_{\Sigma ВДЕ}$. Якщо обидві умови виконуються (так), тоді переходять до розрахунку параметрів ДРГ та аналізу-

ють можливості їхнього використання в умовах ЗРП, а якщо вищеперелічені умови не виконуються (ні), тоді переходять до попередніх етапів обчислення можливого забезпечення необхідних рівнів енергопостачання ДРГ за недостатнього ЕП із ЗЕМ та в критичних умовах ЕП із ЗЕМ [11].

Детально аналізують параметри різних типів ВДЕЕ, їхні режими генерації ЕЕ, вартість облад-

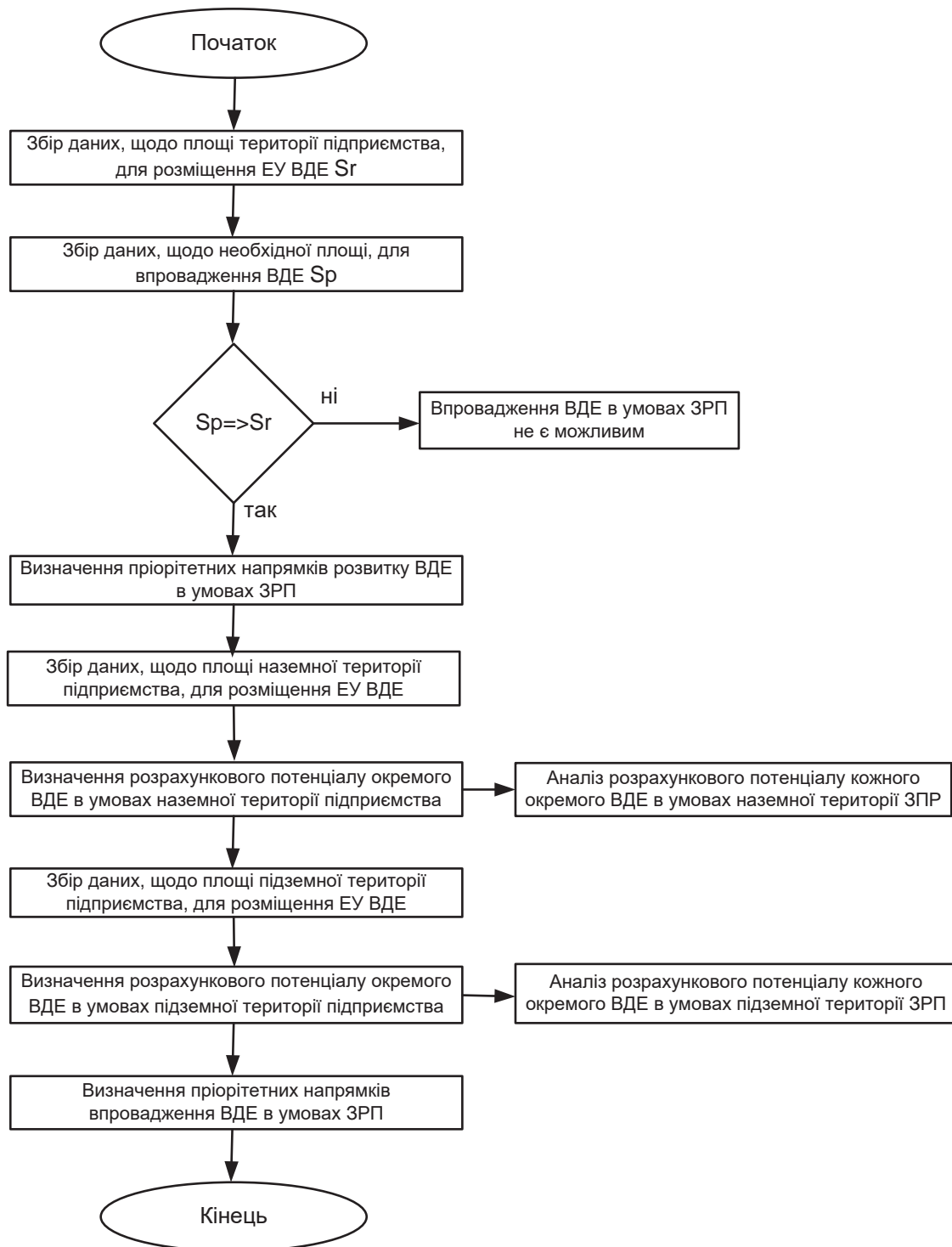


Рис. 1. Алгоритм програми Nomer energy

нання експлуатації, можливу вартість розміщення, вибрані типи ДРГ в умовах ЗРП, а також можливі терміни окупності в умовах ЗРП, тобто обчислюють термін окупності оптимальний ($T_{окуп.}^{opt}$) і термін окупності розрахунковий ($T_{окуп.}^{розр.}$). Якщо виконується нерівність (так) $T_{окуп.}^{opt} > T_{окуп.}^{розр.}$, тоді переходять до аналізу рівня впливу вибраних типів ДРГ для впровадження в умовах ЗРП на екологію навколишнього середовища і виробничий процес.

Якщо рівень впливу ДРГ на екологію та виробничий процес у межах допустимих норм (так), тоді переходять до аналізу рівня впливу впроваджених ДРГ на собівартість залізородної сировини (ЗРС) в умовах ЗРП, тобто розраховують собівартість ЗРС без впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ ($CB_{без\ ВДЕ}^{ЗРС}$) і собівартість ЗРС після впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ ($CB_{впров.\ ВДЕ}^{ЗРС}$). Якщо виконується нерівність (так) $CB_{без\ ВДЕ}^{ЗРС} > CB_{впров.\ ВДЕ}^{ЗРС}$, то переходять до підготовки проектно-технічної документації для одержання дозволу на впровадження вибраних типів ДРГ в умовах ЗРП, а якщо не виконується (ні), то переходять до перегляду ЕС і ЕП в умовах ЗРП, тобто сумарного потенціалу ВДЕ, що входять до складу ДРГ.

Після одержання необхідних дозвільних документів на впровадження вибраних типів ВДЕ в умовах ЗРП переходять до підготовки технічної та проектно-кошторисної документації для розміщення у вибраних місцях об'єктів ДРГ та їхнього використання [11].

Утім, у середовищі програми Homer energy було змодельовано раніше запропоновану систему електропостачання з використанням РДГ на базі ВЕУ (рис. 2–4) [12].

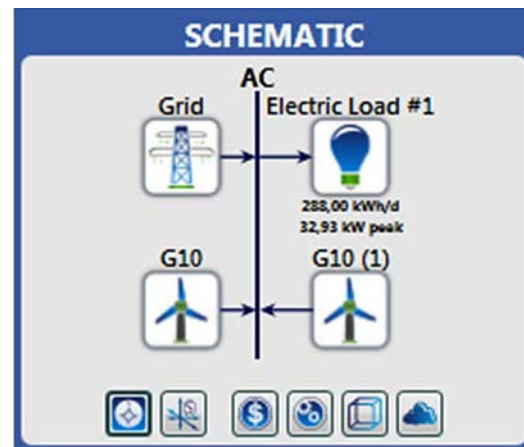


Рис. 2. Схема електроспоживання в програмі Homer energy

Отже, результати моделювання у програмі Homer energy підтверджують інформацію про те, що вона може використовуватися для оперативного визначення потенціалу розосереджених джерел енергії.

Висновки. 1. Беручи до уваги наведені вище результати досліджень і результати досліджень, отримані раніше, можна зробити висновок про те, що використання відновлювальних джерел енергії в умовах залізородних видобувних комплексів є реальним і для оцінки можливості використання джерел розосередженої генерації, тому можна використовувати програмний пакет Homer energy.

2. Запропонований метод визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах гірничорудних підприємств є ефективним, оскільки результати, отримані під час використання цього методу, та у програмному пакеті Homer energy схожі.

Architecture				Cost				System	G10		G10 (1)		Grid	
G10	G10 (1)	Grid (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold
1	1	35,0	CC	0,4698	634 5068	25 8768	300 0008	28	150 000	14 891	150 000	14 891	74 891	19 138

Рис. 3. Оптимальний техніко-економічний варіант автономної енергетичної системи

Architecture				Cost				System	G10		G10 (1)		Grid	
G10	G10 (1)	Grid (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold
1	1	35,0	CC	0,4698	634 5068	25 8768	300 0008	28	150 000	14 891	150 000	14 891	74 891	19 138
1	1	35,0	CC	0,9388	1,158M	77 4818	150 0008	16	150 000	14 891			80 102	9 457
1	1	35,0	CC	0,9388	1,158M	77 4818	150 0008	16			150 000	14 891	80 102	9 457
1	1	35,0	CC	1,508	1,668M	128 3048	0,008	0,00019					85 536	0

Рис. 4. Можливий варіант автономної енергетичної системи електропостачання

Список літератури:

1. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізородних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти) : монографія. Кривий Ріг : Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
2. World Energy Outlook – 2019, OECD/IEA, Paris.

3. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. *Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
4. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Собчук Д.С. Оцінювання впливу на якість функціонування локальної електричної системи відновлюваних джерел електроенергії. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2013. Вип. 141. С. 8–10.
5. Синчук О.Н., С.Н. Бойко, Синчук І.О. Система управління електропотреблением горнорудних підприємств с целью повышения электро-энергоэффективности добычи железорудного сырья. *Технічна Електродинаміка. Науково-прикладний журнал*. 2016. № 6. Київ : Інститут Електродинаміки НАН України, 2016. С. 60–62.
6. Бойко С.М., Сінчук О.М., Сінчук І.О., Мінаков І.А. Алгоритм вибору нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії до локальної системи електропостачання підприємств гірничовидобувного комплексу. *Electronics and Communications*. 2016. Vol. 21. № 5 (94). С. 6–13.
7. Кармазін О.О. Проблеми вписування ВЕС в загальний баланс ОЕС України. *Відновлювана енергетика*. 2014. № 3. С. 70–76.
8. Факторний простір і дослідження процесу споживання електричної енергії залізорудними підприємствами / Сінчук О.М., Сінчук І.О., Ялова О.М., Вінник М.А. // *Технологический аудит и резервы производства*. Харьков, 2015. № 2/1 (22). С. 48–55.
9. Buchholz B., Styczynski Z. *Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. Springer, 2014. 396 p.
10. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startceva T.B. Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods. *RNSPE*. 10–14 September, 2001, Proceedings. Kazan : Kazan State Power Eng. University, 2001. Vol. I. P. 440–442.
11. Bayir R., Bay O.F. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors. *IJSIT Lecture Note of International Conferense on Intelligent Knowledge Systems*. 2004. Vol. 1. № 1.
12. Charytoniuk W., Chen M.S. Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network. *IEEE Trans. on Power Systems*. 1995. Vol. 7. № 1.

Boiko S.M. FEATURES OF DETERMINING THE POTENTIAL OF DISTRIBUTED ENERGY SOURCES IN THE CONDITIONS OF STEEL ENTERPRISES

The purpose of this work is to develop a method for determining the potential of dispersed energy sources in mining enterprises. An analysis of the achievements of modern energy shows that decentralized grid systems using distributed generation sources can be an extremely profitable area for investment, if it is possible to place energy sources near consumers. Considering the fact that introduction of distributed generation sources into the general structure of power supply systems in the mining enterprises is relevant, the question of determining the potential of dispersed energy sources is relevant. The operating modes of the power equipment of iron ore enterprises have an impact on the power consumption of the entire enterprise. Taking into account the results of the research and the results obtained earlier, it can be concluded that the use of renewable energy sources in the conditions of iron ore mining complexes is real and to evaluate the possibility of using the sources of dispersed generation, you can use the software package Homer energy. To determine the optimal modes of operation of the sources of dispersed generation in the conditions of mining enterprises on the criteria of economy and efficiency, we propose to use the proposed approach, which is described by the algorithm. This approach allows us to determine the factors and criteria for optimizing the functioning of renewable energy sources that operate within the dispersed generation. The method allows determining the potential of dispersed energy sources when introducing them into the structure of mining enterprises. The use of the program Homer energy, will allow performing preliminary operational determination of the potential of the power supply system of the site of the mining enterprise with the introduction of sources of dispersed generation.

Key words: *dispersed energy sources, power supply to enterprises, Homer energy program, optimization of operating modes, determining the potential of dispersed energy sources.*

УДК 622.691.4
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/06>

Дорошенко Я.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

CFD-ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗВАРНИХ ТРІЙНИКАХ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Виконано CFD-моделювання турбулентних газових потоків у трійниках, у яких газовий потік із магістралі повністю перетікає у відвід трійника. Моделювання виконувалось для зварних трійників газопроводів із різним зовнішнім діаметром магістралі (219 мм, 530 мм, 1020 мм та 1420 мм). Для кожного з чотирьох вибраних зовнішніх діаметрів магістралі трійників вибрані п'ять різних зовнішніх діаметрів відводу. Діаметр відводу трійника був ключовим геометричним параметром, вплив якого на газодинамічні процеси, втрати енергії в зварних трійниках газопроводів досліджувався. Масова витрата, яка задавалась на вході в магістраль трійників, вибиралась залежно від діаметра трійника. Тиск на виході відводу трійників задавався рівним 5 МПа.

CFD-моделювання виконувалось у програмному комплексі ANSYS Fluent 2019 R2 Academic. Як модель турбулентності була вибрана SST (shear stress transport) модель, у якій виконується вибір між $k-\omega$ (поблизу стінки) і $k-\epsilon$ (далеко від стінки) моделями.

Результати моделювань були візуалізовані побудовою полів швидкостей газового потоку, кінетичної енергії турбулентності та тиску в повздовжніх перерізах трійників, ліній течії у їхній внутрішній порожнині. Виконано аналіз газодинамічних процесів у внутрішній порожнині зварних трійників газопроводів із різним діаметром відводу. Встановлено вплив зменшення діаметра відводу зварних трійників на фізичну картину руху ними газового потоку. Знайдено пояснення причин зміщення поля максимальної швидкості газового потоку у відводі трійника від набігаючої стінки у сторону середини відводу під час зменшення діаметра відводу трійника.

Визначено втрати тиску в усіх трійниках, для яких виконувалось моделювання. За втратами тиску визначено коефіцієнти місцевого опору кожного досліджуваного трійника та втрати в ньому гідродинамічного напору.

Ключові слова: CFD-моделювання, втрати тиску, газодинамічні процеси, зварний трійник, коефіцієнт місцевого опору, турбулентний потік.

Постановка проблеми. Під час руху транспортованого продукту трубопроводом спостерігаються втрати гідродинамічної енергії потоку або втрати напору на подолання опору, зумовленого місцевими опорами і тертям до стінки труби. Щоб підтримати рух потоку трубопроводом, треба витрачати енергію на подолання цих опорів. Місцевими опорами трубопровідних систем є різноманітні фасонні елементи – трійники, відводи (криві гарячого гнуття), перехідники тощо. У складних трубопровідних системах, які містять велику кількість місцевих опорів втрати енергії в них, можуть значною мірою впливати на загальну величину втрат.

Трійники є одними з найскладніших з гідравлічного погляду фасонними елементами трубопроводів і досить поширеними. Потоки в трійниках є дуже складними і тривимірними. Їхня динаміка залежить від багатьох чинників – схеми руху потоку трійником, співвідношення діаметрів магістралі та відводу трійника, геометрії трійника, співвідношення витрат потоку магістраллю

і відводом трійника. Від усіх цих величин залежить величина втрат енергії в трійниках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Втрати енергії у фасонних елементах трубопровідних системах спочатку вивчалися експериментально. Дослідники переважно визначали перепад тиску в різноманітних фасонних елементах трубопроводів, за яким розраховували коефіцієнти втрат енергії (напору). Значення таких коефіцієнтів для багатьох фасонних елементів наведено в довідниках [1; 2]. З розвитком комп'ютерних програмних комплексів CFD-моделювання такі дослідження почали виконуватись числовим методом. Їхні результати порівнювались із результатами експериментів, і було підтверджено, що CFD-моделюванням є ефективним засобом таких досліджень.

Структура газового потоку у трійниках об'язки компресорної станції магістрального газопроводу CFD-моделюванням досліджена у [3]. Виявлено місця виникнення конфузорних і дифузорних ефектів, вихорів, реверсного руху газу, відривання

потоків газу від стінки досліджуваних трійників. У [4] CFD-моделюванням досліджено розділення потоку води у трійниках зі співвідношенням діаметра відводу до діаметра магістралі трійника, яке рівне 0,25. Відвід моделювався перпендикулярним магістралі трійника та нахиленим під кутом 45° . Результатом досліджень були коефіцієнти місцевих опорів для модельованої геометрії трійників і різних співвідношень витрат.

Вплив кута розгалуження Y-подібного трійника на розподіл тиску та швидкості рідини у трійнику CFD-моделюванням вивчено у [5]. Потік рідини в трійнику розділявся на два потоки. Помічено, що коли кут розгалуження становить 45° , турбулентність у трійнику є найменшою, і, відповідно, найменшим є падіння тиску в трійнику. Було встановлено, що рівномірність розділу потоку в трійнику та інтенсивність турбулентності в ньому залежать від швидкості потоку на вході трійника.

Викладені в публікаціях і спеціалізованих довідниках результати досліджень втрат енергії газорідного потоку в трійниках трубопровідних систем переважно стосуються розділення та злиття потоків, що не охоплює всі можливі комбінації напрямів потоку у трійниках, усі можливі співвідношення діаметрів відводу і магістралі трійників.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження впливу діаметра відводу трійника на газодинамічних процесах та гідравлічні втрати енергії у трійниках, у яких потік із магістралі повністю перетікає у відвід.

Виклад основного матеріалу дослідження. Трійники є поширеними елементами малих і великих трубопровідних систем, якими транспортуються газ, нафта, вода та інші різноманітні речовини. Трійники переважно використовуються для розподілу (розділення) потоку від основної труби та для злиття потоків двох труб до однієї труби. Також у багатьох різноманітних трубопровідних системах досить часто трапляються трійники, в яких потік рухається магістраллю, з якої повністю перетікає у відвід трійника. Такі трійники містяться у об'єктах різних технологічних об'єктів – компресорних і насосних станцій магістральних трубопроводів, підземних сховищ газу, газорозподільних станцій тощо. Крім того, вони є в місці технологічних перемичок між трубопроводами, де весь потік з однієї нитки трубопроводу перетікає в іншу, в місцях багатониткових підводних трубопроводів, де весь потік транспортується резервними нитками тощо. Досить часто такі трійники є нерівнопрохідними, тобто діаметр

їхнього відводу є меншим від діаметра магістралі. Наприклад, перемичка між магістральними газопроводами є, як правило, трубою меншого діаметра, порівняно з діаметром основних труб.

У зварних трійниках з'єднання магістралі (основної лінії) і відводу (бічного патрубка) виконано під прямим кутом (рис. 1).



Рис. 1. Зварні трійники

Потоки в трійниках є дуже складними і тривимірними, а тому їх треба вивчати експериментально або CFD-моделюванням. Експериментально вивчити потоки в трійниках газопроводів, особливо магістральних, неможливо. У дослідженні тривимірне CFD-моделювання будемо виконувати в програмному комплексі ANSYS Fluent 2019 R2 Academic методом скінчених об'ємів. Завдяки сучасному програмному забезпеченню, яке є одним із найкращих варіантів для важких і точних розрахунків, можна зекономити багато часу і не робити велику кількість експериментів.

Як модель турбулентності для розрахунків в ANSYS Fluent була вибрана SST (shear stress transport) модель, яка добре себе зарекомендувала в розрахунку відривних течій, що мають місце в трійниках. У SST-моделі виконується вибір між $k-\omega$ (поблизу стінки) і $k-\epsilon$ (далеко від стінки) моделями.

Було накреслено тривимірні моделі внутрішньої порожнини трійників, конструкція та геометричні розміри яких відповідають ТУ У 27.2-05747991-001 [6] та ОСТ 102-61 [7]. Було вибрано чотири різних зовнішніх діаметри магістралі трійників – 219 мм, 530 мм, 1020 мм та 1420 мм.

Щоб дослідити вплив діаметра відводу трійників на параметри потоку, гідравлічну енерговитратність трубопровідних систем для кожного з чотирьох вибраних різних зовнішніх діаметрів магістралі зварних трійників, було вибрано п'ять різних діаметрів відводу і моделювалась внутрішня порожнина таких трійників. Робочим середовищем, рух якого моделювався трійниками, задавався природний газ. Коефіцієнт еквівалентної шорсткості стінки трійників із прилеглими ділянками труб задавався рівним 0,03 мм.

Досліджувались трійники, в яких потік із магістралі повністю перетікає у відвід. На вході в магістраль трійників задавалась масова витрата, а на виході відводу – тиск. Масова витрата на вході в магістраль трійників залежала від діаметра трійника. Оскільки коефіцієнт місцевого опору значною мірою не залежить від тиску, то для всіх моделювань тиск на виході відводу трійника задавався рівним 5 МПа.

На першому етапі виконувалось моделювання для чотирьох різних зовнішніх діаметрів зварних трійників (219 мм, 530 мм, 1020 мм та 1420 мм), кожний з яких мав п'ять різних діаметрів відводу. Виконувалось 16 тривимірних CFD-моделювань.

Результати моделювань були візуалізовані в постпроцесорі програмного комплексу ANSYS Fluent. Для прикладу розглянемо зварні трійники, зовнішній діаметр магістралі яких становить 1420 мм, а зовнішній діаметр відводу змінювався і становив 1420 мм, 1220 мм, 1020 мм та 720 мм. Поля швидкостей у повздовжніх перерізах цих трійників наведено на рис. 2, лінії течії – на рис. 3, поля кінетичної енергії турбулентності – на рис. 4, а поля тиску – на рис. 5. У трійниках з іншими діаметрами магістралі та наближено однаковим співвідношенням діаметра відводу до діаметра магістралі візуалізовані результати є практично однакові.

Перетікання всього газового потоку з магістралі у відвід трійника спричинює зміну напрямку руху газового потоку у трійнику, що призводить до складного перерозподілу швидкості потоку з формуванням досить інтенсивних рециркуляційних рухів у відводах трійників з лівого їхнього боку (рис. 2, 3). Такі рециркуляційні рухи зумовлені відриванням потоку від стінки в місці з'єднання магістралі та відводу трійника, в результаті чого відбувається складний процес перерозподілу імпульсу в трійнику. У місці рециркуляції утворюються турбулентні вихори з великою кінетичною енергією (рис. 4). Детальний аналіз полів швидкості потоку (рис. 2), ліній течії (рис. 3) та полів кінетичної енергії турбулентності (рис. 4) показує істотну залежність газодинамічних процесів у відводі трійників від діаметра відводу. Зменшення діаметра відводу трійника призводить до збільшення швидкості газового потоку у відводі трійника (рис. 2, 3), збільшення інтенсивності рециркуляції та інтенсивності утворення турбулентних вихорів і їхньої кінетичної енергії в зоні рециркуляції (рис. 4).

Зі зменшенням зовнішнього діаметра відводу трійника спостерігається зміщення поля макси-

мальної швидкості газового потоку у трійнику в сторону середини відводу (рис. 2). Зокрема, для трійника із зовнішнім діаметром відводу 1020 мм поле максимальної швидкості вже дещо віддалене від набігаючої стінки відводу (рис. 2, в), а для трійника із зовнішнім діаметром відводу 720 мм воно є в середній частині відводу (рис. 2, г). Пояснення причини зміщення поля максимальної швидкості газового потоку у трійнику в сторону середини відводу під час зменшення зовнішнього діаметра відводу трійника (рис. 2) та причини підвищеної кінетичної енергії турбулентних вихорів біля правої стінки відводу трійника (рис. 4) було знайдене після детального аналізу ліній течії газового потоку у трійниках (рис. 3). У магістралі трійника, у місці зміни напрямку руху газового потоку, дугоподібні лінії течії, які простягаються вздовж нижньої твірної магістралі трійника, виходять за межі проєкції (уявного продовження) відводу трійника у внутрішню порожнину його магістралі, що зумовлено силами інерції (рис. 3). У верхній частині магістралі трійника ці лінії течії різко заокруглюються в сторону відводу трійника (основного потоку), у результаті чого відбувається відривання потоку від стінки на початку відводу з правого його боку та витиснення основного потоку в ліву сторону в цьому місці. У результаті цього в правому боці відводу трійника на його початку також виникає рециркуляційний рух газового потоку. Причому чим менший діаметр відводу трійника, тим інтенсивніша виникає рециркуляція в цьому місці відводу (рис. 3), і тим більша кінетична енергія утворених турбулентних вихорів (рис. 4). Найбільший вплив відривання потоку з правого боку відводу має за найменшого модельованого діаметра відводу трійника – 720 мм. Відбувається зміщення максимуму швидкості газового потоку на середину відводу (рис. 2, г), на відміну від трійників із відводами більших діаметрів (рис. 2, а, б), де максимум швидкості спостерігається біля набігаючої стінки відводу з правого його боку. Зона турбулентних вихорів із правого боку відводу в трійнику з діаметром відводу 720 мм також є набагато довшою, ніж у трійниках із меншим діаметром відводу (рис. 4, г).

У результаті зміни напрямку потоку газу в трійниках, його повного перетікання у відвід відбувається утворення складного поля тиску, падіння тиску (рис. 5). Причинами цього є зміна імпульсу потоку, зумовлена тертям і геометрією трійників.

Зменшення діаметра відводу трійника є ключовим чинником, який впливає на величину падіння тиску у трійнику і збільшує його

гідрравлічний опір. Найбільше падіння тиску у зварному трійнику відбувається в місці інтенсивної рециркуляції з лівого боку відводу, де найінтенсивніша турбулентність газового потоку (рис. 5). Також незначне за величиною поле найбільшого падіння тиску спостерігається і з правого боку відводу на його початку, де спостерігається менша за величиною рециркуляція (найбільше помітне в трійнику з діаметром відводу 720 мм). Фактично рециркуляції у відводі зварного трійника є основною причиною, яка призводить до розсіювання енергії в трійнику. Збільшення її інтенсивності зі зменшенням діаметра відводу трійника негативно впливає на втрати енергії в трійнику.

Відніманням від тиску на вході в магістраль трійника тиску на виході відводу трійника можна визначити падіння тиску в трійнику. Найбільше падіння тиску відбувається у зварному трійнику з діаметром відводу 720 мм і становить 70910 Па (рис. 5, г). Причиною цього є те, що для такого діаметра відводу трійника спостерігається найінтенсивніша рециркуляція з обох боків відводу трійника (рис. 2, г). Зі збільшенням діаметра відводу трійника падіння тиску в ньому зменшується. Так, якщо діаметр відводу трійника

1020 мм, падіння тиску становить 16850 Па (рис. 5, б), якщо 1220 мм – 8580 Па (рис. 5, в) і якщо 1420 мм – 4560 Па (рис. 5, г).

За значеннями падіння тиску в трійниках можна знайти втрати в них напору (енергії). Для цього треба розрахувати безрозмірні коефіцієнти місцевого опору ξ (в іноземній літературі їх називають коефіцієнти втрати енергії (К-факторами)).

Коефіцієнт місцевого опору (втрат енергії) рівний

$$\xi = \frac{\Delta P_{\text{заг}}}{\rho V^2 / 2}, \quad (1)$$

де $\Delta P_{\text{заг}}$ – втрачений на цій ділянці трубопроводу повний тиск (падіння тиску в трійнику); ρ – густина газу; V – швидкість газового потоку (приймається швидкість на виході місцевого опору). [1]

За точним значенням коефіцієнта місцевого опору можна розрахувати втрати напору (енергії) в будь-якому трійнику за формулою

$$h_{\text{м.о}} = \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (2)$$

де, g – прискорення вільного падіння. [1]

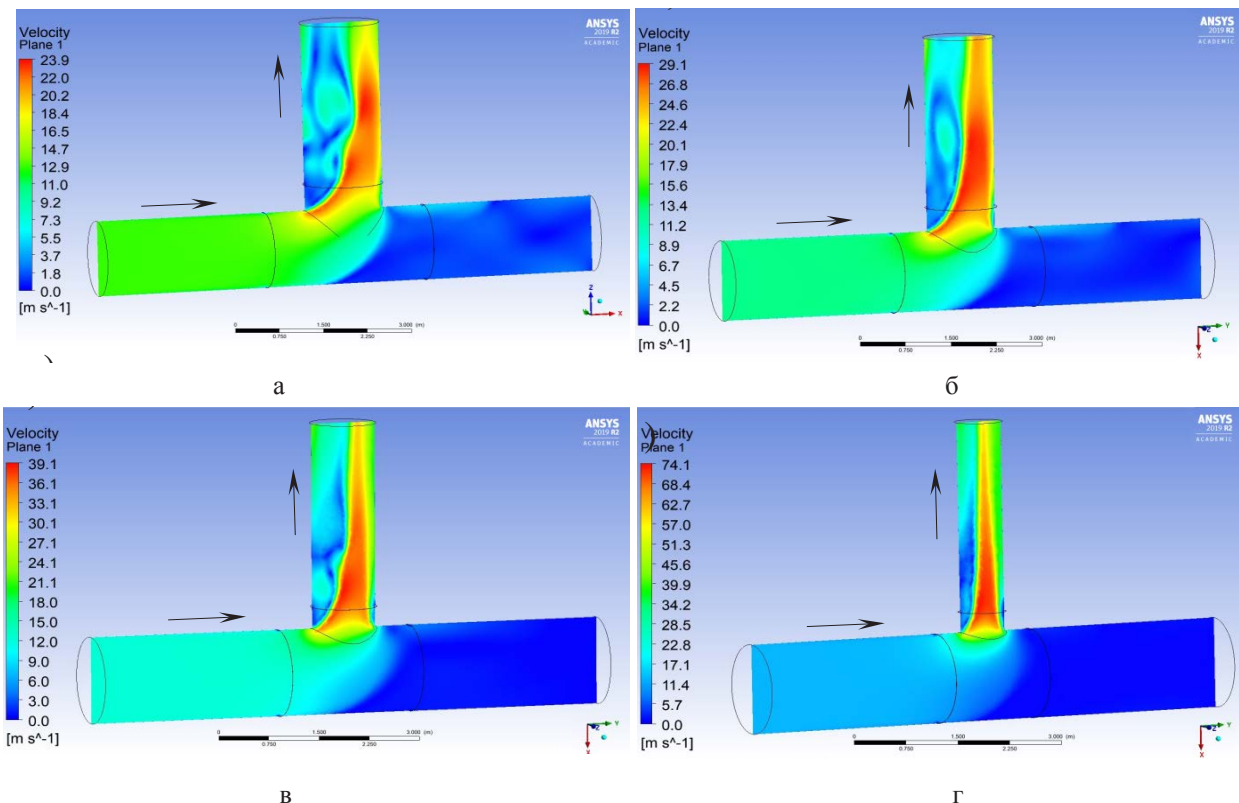


Рис. 2. Поля швидкості в повздовжніх перерізах зварних трійників: а) – 1420 – 1420 мм; б) – 1420 – 1220 мм; в) – 1420 – 1020 мм; г) – 1420 – 720 мм

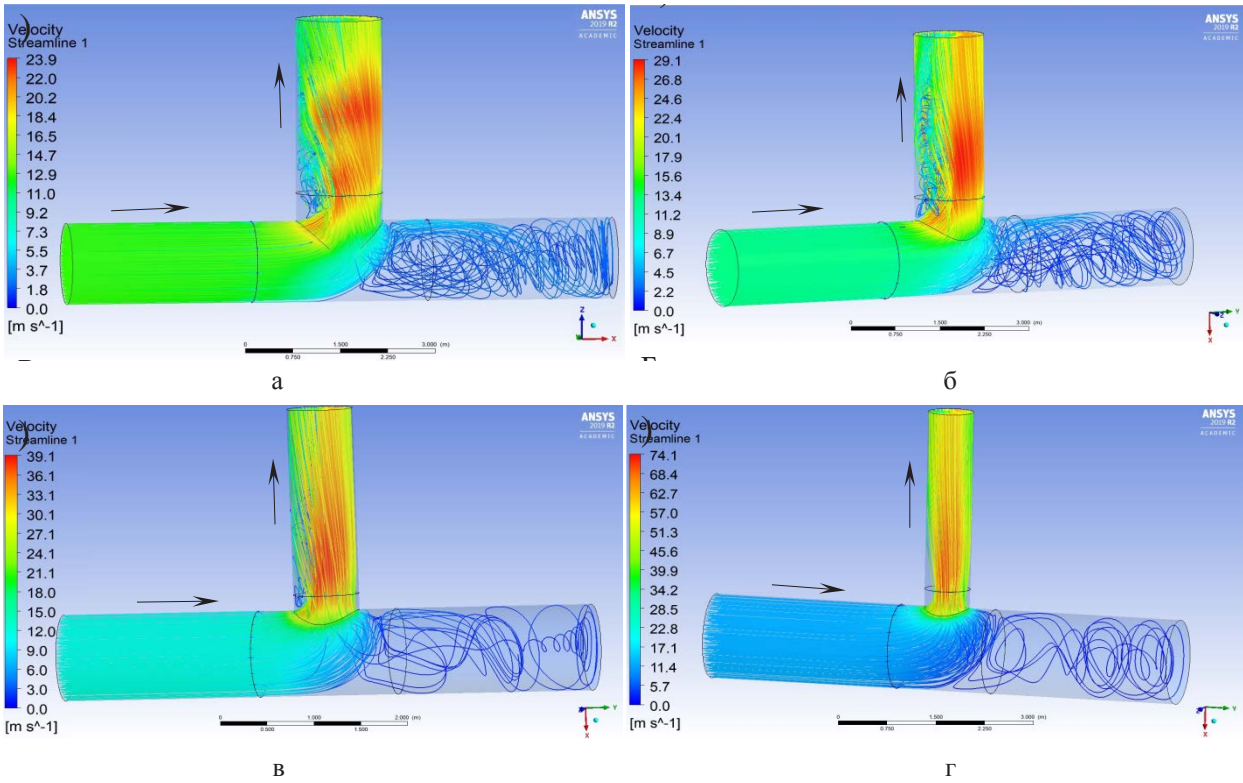


Рис. 3. Лінії течії у внутрішній порожнині трійників:
 а) – 1420 – 1420 мм; б) – 1420 – 1220 мм; в) – 1420 – 1020 мм; г) – 1420 – 720 мм

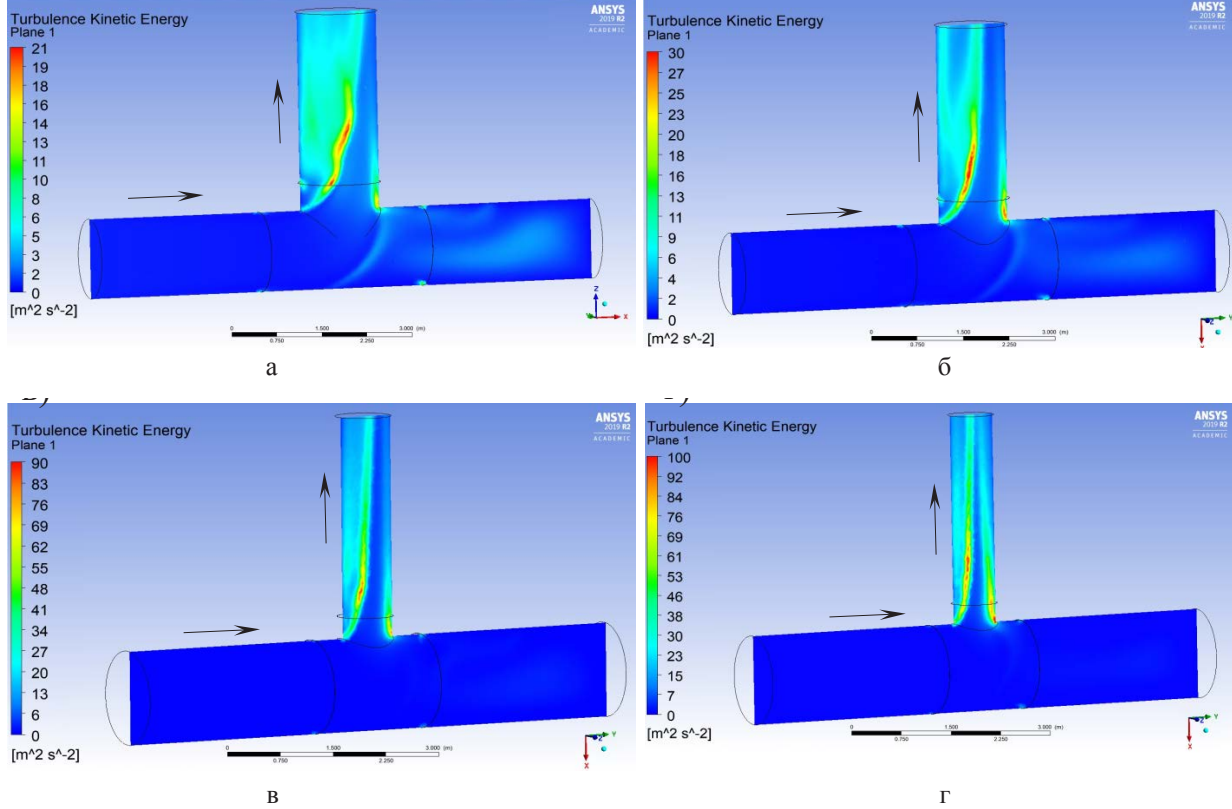


Рис. 4. Поля кінетичної енергії турбулентності в повздовжніх перерізах трійників:
 а) – 1420 – 1420 мм; б) – 1420 – 1220 мм; в) – 1420 – 1020 мм; г) – 1420 – 720 мм

Якщо відомі втрати енергії в трійниках, тоді можна визначити, як вони впливають на енерговитратність усєї трубопровідної системи.

За падінням тиску в кожному трійнику за (1) розраховано коефіцієнти місцевого опору для трійників із чотирма різними зовнішніми діаметрами магістралі (219 мм, 530 мм, 1020 мм та 1420 мм), кожний з яких мав п'ять різних діаметрів відводу. У результаті цього було отримано 20 значень коефіцієнтів місцевого опору. Отримані коефіцієнти місцевих опорів були в межах від 1,5 до 1,6. Результати розрахунків показують, що для зварних трійників, у яких весь потік із магістралі повністю перетікає у відвід, коефіцієнти місцевих опорів значною мірою не залежать від діаметра магістралі й діаметра відводу. Це зумовлено тим, що під час зменшення діаметра відводу трійника пропорційно збільшенню падіння тиску в трійнику збільшується швидкість газового потоку на виході відводу трійника. Також за (2) для кожного модельованого трійника були розраховані втрати напору, які зі зменшенням діаметра відводу трійника різко збільшувались, що зумовлено збільшенням швидкості на виході відводу трійника.

Висновки. Газодинамічні процеси у відводі зварних трійників газопроводів істотно залежать від діаметра відводу. Зменшення діаметра від-

воду трійника призводить до посилення інтенсивності рециркуляцій і збільшення кінетичної енергії турбулентних вихорів у місцях рециркуляцій. Усе це є причиною значного збільшення падіння тиску в трійнику зі зменшенням діаметра його відводу. Наприклад, для граничних умов, які задавались у виконаному CFD моделюванні, падіння тиску у зварному нерівнопрохідному трійнику з діаметром відводу 720 мм і діаметром магістралі 1420 мм у 15 разів більше, ніж у зварному рівнопрохідному трійнику, діаметром 1420 мм.

Поле максимальної швидкості газового потоку у разі зменшення діаметра відводу трійника зміщується від набігаючої стінки у сторону середини відводу. Таке явище пояснюється витісненням основного потоку у відводі трійника потоком, який завдяки силам інерції під час перетікання з магістралі у відвід трійника вийшов за межі проєкції відводу трійника у внутрішню порожнину його магістралі. Цей потік призводить до рециркуляції і збільшення кінетичної енергії турбулентності біля набігаючої стінки відводу трійника.

Визначено, що коефіцієнти місцевих опорів значною мірою не залежать від діаметра відводу трійника і були в межах від 1,5 до 1,6.

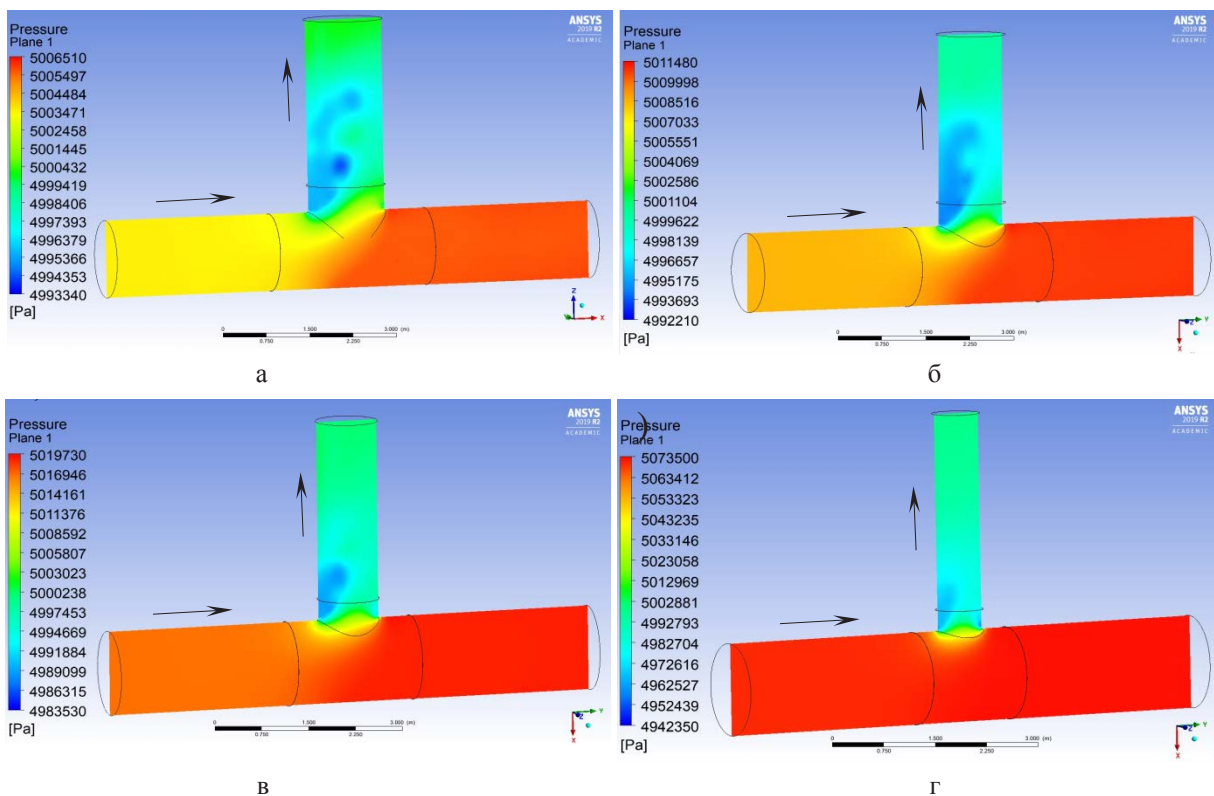


Рис. 5. Поля тиску в повздовжніх перерізах трійників: а) – 1420 – 1420 мм; б) – 1420 – 1220 мм; в) – 1420 – 1020 мм; г) – 1420 – 720 мм

Список літератури:

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Москва : Машиностроение, 1975. 559 с.
2. Flow of fluids through valves, fittings, and pipe. Crane Co. Engineering Division, 1957. 122 p.
3. Дорошенко Я.В., Марко Т.І., Дорошенко Ю.І. Дослідження динаміки руху газу фасонними елементами обв'язки компресорної станції. *Науковий вісник*. 2016. № 1 (40). С. 57–71.
4. Sukhapure K., Burns A., Mahmud T., Spooner J. CFD modelling and validation of head losses in pipe bifurcations. *Heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics* : materials of 13th international conference, t. Portorož, 17–19 July 2017 year. Portorož, Slovenia, 2017. P. 489–494.
5. Kumar S., Khadabadi U. Investigation of flow parameters and structural analysis of Y-Duct. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017. Vol. 4, Issue 6. P. 1520–1524.
6. ТУ У 27.2-05747991-001-2004. Деталі з'єднувальні і збірні одиниці магістральних і промислових трубопроводів на Рр до 10 МПа (100 кгс/см²). [Чинний від 2005-06-01]. Вид. офіц. м. Суми : ВАТ «СМНО ім. Фрунзе», 2004. 98 с.
7. ОСТ 102-61-81. Детали магистральных трубопроводов стальные приварные на Ру до 10,0 МПа (100 кгс/см²). Тройники сварные с усиливающими накладками. Размеры. [Действующий от 1981-07-01]. Изд. офиц. Москва : Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности, 1981. 32 с.

Doroshenko Ya.V. CFD INVESTIGATION OF GASODYNAMIC PROCESSES IN WELD TEES OF MAIN GAS PIPELINES

CFD simulation of turbulent gas flows in tees in which gas flow from the main line completely flows into the tee branch. The simulation was performed for welded tees of gas pipelines with different main line diameters (219 mm, 530 mm, 1020 mm and 1420 mm). For each of the four selected diameters of the tee main line, five different branch diameters were selected. The diameter of the tee branch was a key geometric parameter whose effect on gas-dynamic processes, energy loss in welded tee pipelines was investigated. The mass flow rate that was set at the entrance to the tee main line was selected depending on the tee diameter. The pressure at the outlet of the tees branch was set to 5 MPa.

CFD modeling was performed in ANSYS Fluent 2019 R2 Academic software. The turbulence model was chosen as the SST (shear stress transport) model in which the choice is made between $k-\omega$ (near the wall) and $k-\varepsilon$ (far from the wall) models.

The simulation results were visualized by the construction of fields of gas flow velocities, kinetic energy of turbulence and pressure in longitudinal sections of tees, flow lines in their inner cavity. The analysis of gas-dynamic processes in the internal cavity of welded tees of gas pipelines with different diameters of branch. The influence of reducing the diameter of the weld tees branch on the physical picture of the gas flow by them is established. The reasons for the displacement of the field of maximum velocity of the gas stream in the tee branch outlet from the incoming wall towards the middle of the outlet have been found while reducing the diameter of the tee branch outlet.

Pressure loss in all tees for which simulation was performed was determined. The pressure loss determines the coefficients of local resistance of each test tee and the loss of hydrodynamic pressure in it.

Key words: *CFD modeling, coefficient of local resistance, gas-dynamic processes, pressure loss, turbulent flow, welded tee.*

Пантелєєва І.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

ПРОБЛЕМА КООРДИНАЦІЇ РІВНІВ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Вимоги до електричних апаратів, струмоведучих частин, силових трансформаторів і конструкцій розподільчих пристроїв стають більш жорсткими. Виникає проблема оптимальної координації у динаміці параметрів електрообладнання та вимог енергосистеми або координації параметрів електрообладнання з існуючими рівнями струмів к. з. Ця проблема повинна вирішуватися на базі системного підходу з урахуванням названої динаміки, розробок нових видів обладнання, а також вимог до надійності й економічності режимів роботи енергосистем. Проблема комплексна, багатогранна, потребує проробки ряду взаємопов'язаних питань.

Необхідність обмеження струмів к. з. може виникнути як на стадії проектування електростанції, так і під час експлуатації. При цьому струмообмежуючі пристрої, які обираються, не повинні істотно впливати на нормальний режим роботи електричної мережі, повинні мати стабільні характеристики при зміні схеми і параметрів режиму.

У статті розглянуто проблеми координації параметрів електрообладнання з існуючими (або які очікуються) величинами струмів коротких замикань (к. з.). Розглянута динаміка рівнів струмів к. з. по енергосистемах України, а також динаміка зміни найбільших рівнів струмів відключення комутаційних апаратів, застосування методів і засобів обмеження струмів к. з. Достатньо детально розглянута ефективність розділення електричної мережі та схемних рішень, проаналізований розподіл перетоків потужності на шинах електроустановок при розділенні мережі.

Ефективність стаціонарного розділення мережі визначається розрахунками струмів к. з. для існуючої нормальної схеми мережі при максимальному навантаженні та для схеми, де розділення мережі ліквідовано. Проаналізований інтегральний розподіл струмів к. з. по вузлах мережі 110, 220 кВ усередненої регіональної енергосистеми.

Дослідження отриманих даних виявляє ряд закономірностей: ліквідація точок стаціонарного розділення збільшує максимальні струми к. з. Зростання спостерігається у схемі з двома секціонованими системами збірних шин, а також при вмиканні двох шиноз'єднувальних і двох секційних вимикачів та одночасному підживленні точки к. з. від сусіднього енерговузла, де також ліквідуються точки стаціонарного розділення мережі. Проаналізований узагальнений ефект струмообмеження, завдяки стаціонарному розділенню 20% найбільших комутаційних вузлів вдалося стабілізувати струми к. з. на рівні до 40 кА і використовувати електричні апарати з відносно невисокою комутаційною спроможністю і вартістю.

Ключові слова: струм короткого замикання (к. з.), енергосистема, електрична мережа, комутаційні апарати, трансформатор, вимикач, потужність, шини електроустановок.

Постановка проблеми. В мережах різної напруги енергосистем рівень струмів к. з. безперервно зростає, при цьому вимоги до електричних апаратів, струмоведучих частин, силових трансформаторів і конструкцій розподільчих пристроїв (РП) стають більш жорсткими. Виникає проблема оптимальної координації у динаміці параметрів електрообладнання та вимог енергосистеми або координації параметрів електрообладнання з існуючими рівнями струмів к. з. [1, с. 14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ця проблема виникла порівняно недавно (у 60–70 р.р. ХХ ст.) у зв'язку з розвитком електроенергетики: зростанням одиничних потужностей генеруючих

агрегатів, електростанцій, підстанцій та енергосистем, мереж середньої та високої напруги. Вона повинна вирішуватися на базі системного підходу з урахуванням динаміки зміни струмів к. з. і параметрів електрообладнання, розробок їх нових видів, а також вимог до надійності й економічності режимів роботи енергосистем. Це частина більш загальної задачі обґрунтування структури, параметрів і режимів роботи енергосистем і їх елементів, яка вирішується на всіх стадіях управління енергосистемами: від прогнозування і планування до проектування й експлуатації [2; 3]. Проблема комплексна, багатогранна, потребує проробки ряду взаємопов'язаних питань.

На сучасному етапі розвитку складних електроенергетичних систем (ЕЕС), не дивлячись на те, що використовуються різні струмообмежуючі пристрої, проблема обмеження струмів к. з. до сих пір залишається не вирішеною [1; 4]. Зростання струмів к. з. в електричних мережах усіх класів напруги робить актуальною розробку нових ефективних методів і пристроїв, призначених для їх зниження.

Проблему координації струмів к. з. необхідно вирішувати для розподільчих пристроїв і мережі генераторної напруги теплоелектростанцій, на зборках генераторної напруги укрупнених блоків гідроелектростанцій, на вторинній стороні (6÷10 кВ) підстанцій, у системі власних потреб конденсаційних і атомних електростанцій, у розподільчих пристроях і мережах високої напруги потужних районних електростанцій.

Постановка завдання. Метою статті є корегування рівнів струмів к. з. у мережах різної напруги з параметрами комутаційних апаратів на основі аналізу статистичних даних регіональної енергосистеми.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проектування і експлуатація ЕЕС – це складні техніко-економічні задачі, які завжди є динамічними, нелінійними і багатоваріантними. Необхідність обмеження струмів к. з. може виникнути як на стадії проектування електростанцій, так і під час їх експлуатації. При цьому струмообмежувальні пристрої, які обираються, не повинні істотно впливати на нормальний режим роботи електричної мережі, повинні мати стабільні характеристики при зміні схеми і параметрів режиму.

Рівні струмів к. з. і динаміка їх зміни аналізуються за статистичними даними (10÷20 років) і на перспективу (10÷15 років). Джерелом інформації є підсумки розрахунків струмів к. з. в електричних мережах у режимі максимуму навантаження. Особливу увагу привертають найбільші значення $I_{к\ max}$ струмів трифазних $I_{к\ max}^{(3)}$ й однофазних $I_{к\ max}^{(1)}$ к. з. у розрахунковому режимі роботи електроустановки або енергосистеми. Динаміка рівнів струмів к. з. по енергосистемах України наведена у табл. 1. Для прикладу автор розглядає зміни $I_{к\ max}$ в мережах 110, 220 кВ за 20 років [6; 7].

Стабілізація струмів к. з. на рівні до 40 кА в мережах 110, 220 кВ стає наслідком їх цілеспрямованого обмеження. Без цього у значній частині вузлів мереж 110, 220 кВ вони б перевищили 100÷130 кА і вимагали б заміни $\frac{1}{3}$ встановленого комутаційного обладнання. Максимально допустимий рівень струмів к. з. – важлива техніко-еко-

номічна характеристика енергосистем. Вимоги до комутаційного обладнання повинні враховувати стратегію розвитку систем, електростанцій і мереж, можливість промисловості розробити і доставити у встановлені терміни обладнання з потрібними параметрами, надійність роботи електростанцій, підстанцій, вузлів навантаження і системи загалом, витрати на створення мережі з тим чи іншим максимальним рівнем струмів к. з.

Таблиця 1

Найбільші діючі значення струмів к. з. у мережі системи

Рік	Струм к. з., кА при напрузі мережі, кВ			
	110		220	
	$I_{к\ max}^{(3)}$	$I_{к\ max}^{(1)}$	$I_{к\ max}^{(3)}$	$I_{к\ max}^{(1)}$
1999	34,6	38,9	34,1	33,0
2004	30,4	37,6	35,4	34,9
2009	30,9	37,5	35,6	37,9
2014	31,2	37,3	35,5	38,0
2019	31,4	37,4	35,5	38,2

Величина струму к. з. залежить від структури і параметрів електричної мережі, встановленої потужності генераторів, які видають енергію у мережу генераторної чи підвищеної напруги, а також від встановленої потужності трансформаторів зв'язку з мережами інших напруг, які мають джерела живлення. Тому максимальний рівень струмів к. з. пов'язаний з інтегральними параметрами мереж. До них можна віднести щільність σ_m електричної мережі, площу електропостачання S_n , на одну підстанцію, а також середню довжину l_{cep} лінії класу напруги, який розглядається. Перелічені параметри характеризують жорсткість електричних зв'язків у енергосистемі і розраховуються таким чином:

$$\sigma_m = \frac{l_\Sigma}{S}; \quad S_n = \frac{S}{n_{nc}}; \quad l_{cep} = \frac{l_\Sigma}{n_l}, \quad (1)$$

де l_Σ – сумарна довжина ліній класу напруги, який розглядається, в регіоні площею S , км; n_{nc} – кількість підстанцій; n_l – кількість ліній.

Електропромисловість безперервно вдосконалює конструкції електрообладнання, покращує його параметри та характеристики з обліком збільшення вимог до енергосистем, які розвиваються [5; 13]. Відомі такі методи обмеження струмів к. з.: схемні рішення на етапі проектування; стаціонарне та автоматичне розділення існуючої мережі при експлуатації; застосування струмообмежуючих пристроїв різного типу; використання

струмообмежуючих реакторів і резистивів, а також часткове розземлення нейтралей трансформаторів [5]. Докладніше автор розглядає ефективність розділення електричної мережі та схемні рішення. Проблема обмеження струмів к. з. зберігається й нині. Це вбачається із динаміки розділення мереж регіональної енергосистеми (табл. 2) [8; 12].

Таблиця 2
Динаміка точок розділення мереж усередненої регіональної енергосистеми

Вид розділення	Рік	Кількість точок розділення у мережах		
		110 кВ	220 кВ	Всього
Стаціонарне	1999	45	11	56
	2004	68	11	79
	2009	88	17	105
	2014	84	18	102
	2019	80	18	98
Автоматичне	1999	7	2	9
	2004	21	3	24
	2009	20	3	23
	2014	22	4	26
	2019	20	4	24

Так, приблизно 20% найбільших комутаційних вузлів мережі 110, 220 кВ придатні стаціонарному розділенню на шиноз'єднувальних і секційних вимикачах. Автоматичне розділення мережі використовується рідше, тому що воно не зменшує електродинамічних дій на електрообладнання лінійних приєднань і потребує високих співвідношень наскрізних струмів вимикачів і струмів відключення.

З 2004 року розпочалося зростання електроспоживання (табл. 2). Період із кінця 90-х років ХХ ст. до початку ХХІ ст. є фазою, коли вдалося привести у відповідність відмикаючу здатність комутаційних апаратів зі струмами к. з. Не дивлячись на значні обсяги розділення мереж, номінальні струми відключення ряду встановлених вимикачів є нижчими найбільших розрахункових струмів к. з., тобто вимикачами з недостатньою відмикаючою здатністю. Таке положення характерне для будь-якої регіональної енергосистеми країни.

Ефективність стаціонарного розділення мережі визначається розрахунками струмів к. з. для існуючої нормальної схеми мережі при максимальному навантаженні та для схеми, де розділення мережі ліквідовано. Так, розрахункова схема регіональної енергосистеми складається, наприклад, із 958 вузлів 110 кВ, 180 вузлів 220 кВ. Кількість вузлів $n_{вуз}$ у розрахунковій схемі перевищує кіль-

кість РП $n_{рп}$ класу напруги, який розглядається. Причина в тому, що кодування вузлів у розрахунковій схемі мережі фіксує кожен систему (схема з двома системами збірних шин з обхідною або без неї) чи секцію системи збірних шин (схема з однією секціонованою системою шин з обхідною або без неї). На рис. 1 наведений інтегральний розподіл струмів к. з. по вузлах мережі 110, 220 кВ регіональної енергосистеми [4; 12].

Аналіз отриманих даних виявляє ряд закономірностей. По-перше, ліквідація точок стаціонарного розділення дуже збільшує (в 1,9÷4,4 рази) максимальні струми к. з. (табл. 3) у мережі 110, 220 кВ. Вони можуть перевищити 130 кА. Зростання $I_{к\max}$ у 3–4 та більше разів може бути у схемі електроустановки з двома секціонованими системами збірних шин. У нормальному режимі РП поділяється на чотири безпосередньо не пов'язаних між собою частини, а стаціонарне ділення створюється двома відключеними шиноз'єднувальними і секційними вимикачами. Зростання струму к. з. у 4,4 рази спостерігається при їх вмиканні і одночасному підживленні точки к. з. від сусіднього енерговузла, де також ліквідується точки стаціонарного розділення мережі. По-друге, по кривих інтегрального розподілу струмів к. з. (рис. 1) виявляється узагальнений ефект струмообмеження по співвідношенню:

$$\kappa_{обм} = \frac{P_1}{P_2}. \quad (2)$$

У співвідношенні (2): P_1 – площа фігури, яка створюється осями координат та кривою інтегрального розподілу 1, P_2 – те ж саме, але кривою 2. Значення цього коефіцієнта можна трактувати як середнє обмеження струмів к. з., яке приходить на кожний вузол мережі: для 110 кВ – $\kappa_{обм} = 1,91/2,08$; для 220 кВ – $\kappa_{обм} = 1,47/1,56$. По-третє, за рахунок стаціонарного розділення 20% найбільших комутаційних вузлів вдалося стабілізувати струми к. з. на рівні до 40 кА в усіх вузлах мереж 110÷220 кВ енергосистеми, яка розглядалася, і використовувати електричні апарати з відносно невисокою комутаційною спроможністю і вартістю.

Теоретично ліквідація точок стаціонарного розділення мереж 110÷220 кВ і викликаний цим ріст рівнів струмів к. з. можуть призвести до того, що із 2 500 встановлених вимикачів в енергосистемі виникне потреба в заміні 830 (≈30%) вимикачів. За обережними оцінками при ліквідації точок стаціонарного розділення мережі тільки в одній

регіональній енергосистемі (табл. 2) вартість заміни вимикачів внаслідок зростання рівнів струмів к. з. складає не менше 120 млн дол. [9; 10; 11].

Схемні рішення, як правило, виконуються переходом від зв'язаних схем зі збірними шинами електроустановок до блокових або напівблокових схем, в узгодженні схем видачі потужності електростанцій зі схемами прилеглих мереж енергосистеми. Стаціонарне розділення електричної мережі розукрупнює комутаційні вузли на безпосередньо не пов'язані електрично частини. Частіше за все схемні рішення застосовуються на двохтрансформаторних знижуючих підстанціях. Струмообмежуючий ефект тут носить локальний характер.

Негативний вплив стаціонарного розділення мережі полягає у порушенні природного поточкороз-

поділу активної потужності. Це пов'язано зі зростанням втрат потужності та електроенергії в мережах. На рис. 2 наведений інтегральний розподіл можливих перетоків потужності через шиноз'єднувальні чи секційні вимикачі точок при ліквідації точок стаціонарного розділення мережі 110÷220 кВ (табл. 2) у РП відповідного класу напруги.

Як бачимо з рис. 2, значення перетоків потужності достатньо великі [12]. При розділенні мережі вони розподіляються не по збірних шинах електроустановок, які мають дуже малий опір, а по мережі енергосистеми. Внаслідок відносно невеликих міжвузлових відстаней у мережі не виникає належного зростання втрат потужності. Стаціонарне розділення мережі у цій регіональній енергосистемі призводить до збільшення втрат активної потужності з 345 до 381 МВт у мережах 110 кВ і більше. Вартість втрат елек-

Таблиця 3

Максимальні розрахункові струми к. з. у регіональній енергосистемі

Параметр	Максимальний струм к. з. у мережах, кА	
	110 кВ	220 кВ
Розрахункова схема мережі:		
1) фактична з розімкнутими точками стаціонарного розділення мережі,	37,5/30,9	37,9/35,6
2) з примусово замкнутими точками стаціонарного розділення мережі	121,4/134,4	71,9/74,8
Збільшення струму к. з., відносно одиниці	3,2/4,4	1,9/2,1

Чисельник – струм однофазного к. з.; знаменник – трифазного

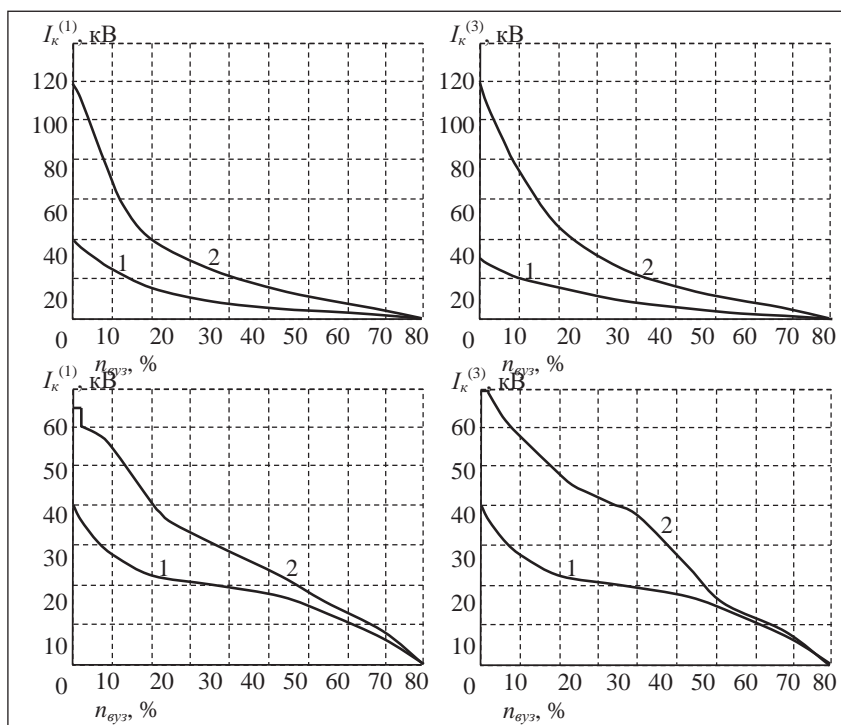


Рис. 1. Інтегральний розподіл струмів однофазного і трифазного к. з. у мережах: а) 110 кВ; б) 220 кВ (1 – фактична схема з розімкнутими точками стаціонарного розділення мережі; 2 – схема з примусово замкнутими точками стаціонарного розділення мережі)

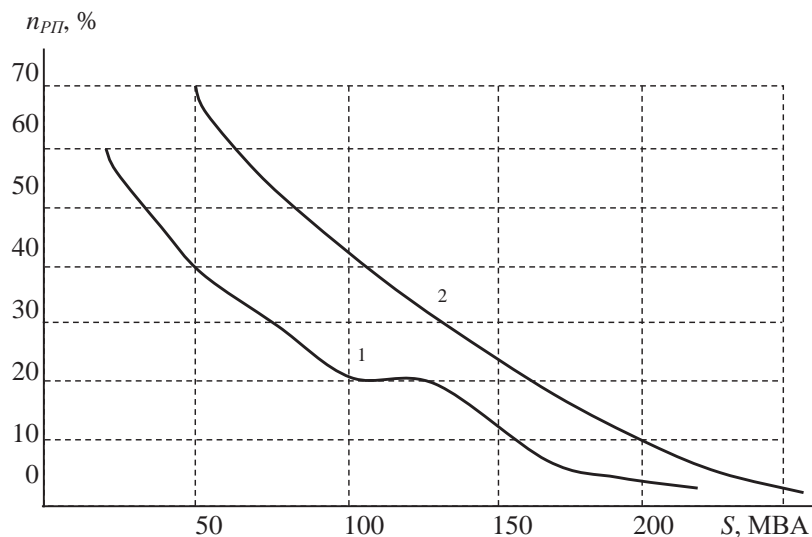


Рис. 2. Інтегральний розподіл перетоків потужності на шинях електроустановок

троенергії в декілька разів менша за витрати на заміну вимикачів із необхідними номінальними струмами відключення. Крім того, до уваги також слід брати забезпечення електродинамічної стійкості трансформаторів і ошиновки РП.

Висновки. 1. Проаналізований стан проблеми обмеження струмів к. з. на прикладі умовної регіональної енергосистеми.

2. Особлива увага приділена ефективності розділення електричної мережі та схемним рішенням. Розглянуті недоліки та переваги цього методу. Доведено, що стаціонарне розділення електричної мережі об'єктивно є основним, найбільш ефективним методом обмеження рівнів струмів к. з.

Список літератури:

1. Рюдєнберг Р. Эксплуатационные режимы электроэнергетических систем и установок. Энергия, 2001. С. 2–5.
2. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Энергобережения – приоритетный напрям державної політики України. Київ, 1998. 512 с.
3. Крючков И.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Издательский дом МЭИ, 2008. 416 с.
4. Пантелеева И.В. Воздействие токов короткого замыкания в сети с гибкими проводниками с учетом нелинейности системы. Системи озброєння і військова техніка. ХУПС, 2015. № 4(44). С. 92–95.
5. Пантелеева И.В. Особливості захисту від неповнофазних режимів у розподільчих мережах 6÷110 кВ. Prospects for The Development of Technical Sciences in EU Countries and Ukraine. Poland, 2018. С. 125–128.
6. Зарубіжний досвід енергетичної статистики міжнародних організацій (МЕА, Євростат, ООН). Нормативно-правове забезпечення та автоматизовані системи збору і оброблення інформації енергетичної статистики. Київ, 2015. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/5Statystyka-energetyky.pdf>.
7. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.kmu.gov.ua/ua/npas/99242859>.
8. Державна служба статистики України: <http://ukrstat.gov.ua/>.
9. Шматько Н.М. Рекомендації щодо оцінки складників фінансового потенціалу гнучкості машинобудівного підприємства. Вісник НТУ «ХПІ», 2011. № 25. С. 79–85.
10. Корнєєв М.В., Шматько Н.М. Оцінка ефективності структурних трансформацій у процесі організаційного розвитку підприємства. Ефективна економіка, 2018. № 8. URL: <http://www.kmu.economy.nauka.com.ua/?op=1@z=7222/>.
11. Лепейко Т.І., Шматько Н.М. Особливості прояву синергетичних ефектів в українській економіці. Бізнес Інформ=Business Inform, 2012. № 11. С. 6–8.
12. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.energobalans.com/>.
13. Budanov P. Improvement of safety of autonomous electrical installations by implementing a method for calculating the electrolytic grounding electrodes parameters / P. Budanov, K. Brovko, A. Cherniuk, I. Pantielieieva, Yu. Oliynyk, N. Shmatko, P. Vasyuchenko // Eastern-european journal of enterprise technologies. 2018. 5/5(95). P. 20–28.
14. Олійник Ю.С. Якість електричної енергії // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2018. № 196. Технічні науки «Проблеми енергозабезпечення та енергобереження в АПК України». С. 113–115.

Pantielieieva I.V. THE PROBLEM OF COORDINATION OF SHORT CURRENT CURRENTS IN POWER SYSTEMS

Requirements for electric appliances, current-carrying parts, power transformers and switchgear designs become more stringent. There is a problem of optimal coordination in the dynamics of electrical equipment

parameters and power system requirements or coordination of electrical equipment parameters with the existing levels of s. c. currents. This problem should be solved on the basis of a systematic approach, taking into account the named dynamics, development of new types of equipment, as well as requirements for the reliability and economy of modes of operation of power systems. The problem is complex, multifaceted, and needs to be addressed in a number of related issues.

The need to limit s. c. currents may occur both at the stage of power plant design and during operation. In this case, the current limiting devices that are selected should not significantly affect the normal mode of operation of the electrical network, should have stable characteristics when changing the circuit and mode parameters.

The article deals with problems of coordination of parameters of electrical equipment with existing (or expected) values of short-circuit currents (s. c.). The dynamics of the levels of s. c. currents on the power grids of Ukraine is considered, as well as the dynamics of changing the largest levels of currents of switching off of switching devices. Application of current limiting methods and methods of limiting currents s. c. The efficiency of the separation of the electrical network and the circuit solutions is considered in sufficient detail. The distribution of power fluxes on the busbars of electrical installations during network division is also analyzed.

The efficiency of stationary network separation is determined by the calculation of s. c. currents for the existing normal network circuit at maximum load and for the circuit where network separation is eliminated. The integrated distribution of s. c. currents over the nodes of the 110, 220 kV network of the averaged regional power grid is analyzed. The study of the obtained data reveals a number of regularities: the elimination of stationary separation points greatly increases the maximum s. c. currents. The increase is observed in the scheme with two partitioned busbar systems, as well as with the activation of two busbar and two section switches, and at the same time recharging of the s. c. point from the adjacent power unit, which also eliminates the points of stationary network separation.

The generalized current limiting effect was analyzed, and thirdly, due to the stationary separation of 20% of the largest switching units, it was possible to stabilize the s. c. currents up to 40 kA and to use electric devices with relatively low switching power and, respectively.

Key words: short-circuit current (s. c.), power system, electrical network, switchgear, transformer, switch, power, busbar wiring.

Петік Т.В.

Одеський національний політехнічний університет

Давидов В.О.

Одеський національний політехнічний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗМІНИ РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ ЕНЕРГОБЛОКУ 1000 МВт АТОМНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Стаття присвячена дослідженню взаємного впливу зміни рівня води в парогенераторі кожної з чотирьох петель енергоблоку атомної електричної станції з ВВЕР-1000. Метою роботи є розробка моделі процесу зміни рівня води в парогенераторах атомних електричних станцій із реакторами ВВЕР-1000 і взаємодії між парогенераторами, а також модернізація автоматичної системи регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку атомної електричної станції з ВВЕР-1000.

Рівень води в парогенераторі залежить від витрати живильної води, витрати згенерованої пари та кількості теплоти, підведеної з боку першого контуру енергоблоку атомної електричної станції з ВВЕР-1000. Підтримання рівня води в парогенераторі здійснюється шляхом зміни витрати живильної води другого контуру. Управління рівнем води в парогенераторі подачею керуючого впливу на регулюючу засувку витрати живильної води на конкретний парогенератор не може забезпечити необхідну точність без належного алгоритму керування. Головною причиною цього є те, що живильна вода на парогенератори подається з одного живильного тракту і зміна витрати води на один парогенератор призводить до зміни витрати на усі інші парогенератори.

У статті парогенератор енергоблоку атомної електричної станції з ВВЕР-1000 досліджується не лише як цільна система, а й як частина більш складної системи. Для дослідження факторів, які впливають на рівень води в парогенераторі, розглядається група парогенераторів чотирьох циркуляційних петель першого контуру енергоблоку атомної електричної станції з ВВЕР-1000 як цільна система.

Розробка моделі взаємних впливів зміни рівня води в парогенераторах дозволить удосконалити автоматичну систему регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку з ВВЕР-1000, забезпечити підвищення якості регулювання й поліпшення техніко-економічних показників. Зокрема, дослідження цього питання дозволить експлуатувати парогенератор та енергоблок більш ефективно.

Ключові слова: парогенератор, автоматична система регулювання, атомна електрична станція, регулювання рівня, ВВЕР-1000.

Постановка проблеми. Автоматизовані системи управління технологічними процесами (далі – АСУ ТП), які використовуються на енергоблоках атомних електричних станцій (далі – АЕС), за багаторічну експлуатацію довели свою надійність, проте існує потреба в підвищенні якості їх функціонування, а отже й у модернізації. Цю потребу можна задовольнити за рахунок удосконалення принципів і алгоритмів управління та регулювання.

Парогенератори (ПГ) енергоблоків із ВВЕР-1000 належать одразу до двох контурів, тому ефективність управління парогенераторами АЕС із ВВЕР-1000 значно впливає на ефективність процесу видобутку електроенергії загалом. Найважливіший параметр, який підлягає регулюванню, це рівень води в парогенераторі.

Підвищення рівня в ПГ АЕС недопустиме, бо призводить до збільшення вологості пари, заброду води в турбіну, гідроударів і пошкодження лопаточного апарату турбіни. Зниження рівня води в ПГ викликає оголення поверхонь теплообміну, а отже погіршення теплообміну і збільшення температури води першого контуру [1, с. 100].

Підтримання рівня води в парогенераторі на номінальному значенні – це важлива задача для безперебійної роботи будь-якої АЕС. Відомо, що рівень води в парогенераторі залежить від витрати живильної води, витрати згенерованої пари та кількості підведеної з боку першого контуру теплоти, а підтримання рівня здійснюється шляхом зміни витрати живильної води другого контуру. Управління рівнем води в парогенераторі подачею керуючого впливу на регулюючу засувку

витрати живильної води на конкретний парогенератор не може бути абсолютно точним без належного алгоритму керування. Відбувається це тому, що живильна вода на парогенератори подається з одного живильного тракту, і зміна витрати води на один парогенератор призводить до зміни витрати на всі інші.

Мета статті. Для досягнення більш ефективного регулювання рівня води необхідна модернізація автоматичної системи регулювання (АСР) рівня води в парогенераторі енергоблоку з ВВЕР-1000. Необхідно дослідити парогенератор не лише як цільну систему, а й як частину більш складної системи. Тобто для дослідження факторів, які впливають на рівень води в парогенераторі, слід розглядати групу парогенераторів чотирьох циркуляційних петель першого контуру енергоблоку з ВВЕР-1000 як цільну систему. Розробка моделі взаємних впливів зміни рівня води в парогенераторах дозволить вдосконалити АСР рівня води в ПГ енергоблоку з ВВЕР-1000, що в свою чергу дасть можливість експлуатувати ПГ та енергоблок більш ефективно.

Виклад основного матеріалу дослідження. АЕС із ВВЕР-1000 є двоконтурною з реактором на теплових нейтронах корпусного типу турбіною насиченої пари. Теплова схема енергоблоку із реакторами ВВЕР-1000 чотирьохпетлева (чотири ПГ, чотири ГЦН, один реактор, один компенсатор об'єму) моноблочна (один реактор – одна турбіна). Все теплотехнічне обладнання поділяється на реакторну, парогенераторну, турбогенераторну, конденсаційну установки і конденсатно-живильний тракт, який включає деаераційно-живильну установку.

Найбільша теплова ефективність АЕС досягається варіюванням основних параметрів тепло-

вої схеми: температури регенеративного підігріву живильної води і схеми регенерації, тиску і температури, числа ступенів проміжного перегріву пари, типу привода допоміжних механізмів і способів включення їх у систему, характеристик конденсаційної установки. Технологічні схеми і обладнання другого контуру, що є складниками теплової схеми АЕС (рис. 1), відображають основний технологічний процес – процес вироблення електроенергії.

Перший контур АЕС радіоактивний, другий – нерадіоактивний. Парогенератор є спільним устаткуванням для першого і другого контурів. У ньому теплова енергія, вироблена в реакторі, від першого контуру через теплообмінні трубки передається другому контуру. Насичена пара, яка виробляється в ПГ, по паропроводу надходить на турбіну, яка приводить в обертання генератор, що виробляє електричний струм [2, с. 221].

Тип парогенератора – горизонтальний, однокорпусний, із зануреною поверхнею теплообміну з горизонтально розташованих труб, з убудованими паросепараторними пристроями, системою роздачі живильної води, паровим колектором, із зануреним дірчатим листом, системою роздачі аварійної живильної води. Спрощена схема включення парогенератора до головного циркуляційного контуру наведена на рисунку 2.

Нагрітий у реакторі теплоносієм першого контуру по «гарячій» нитці головного циркуляційного трубопроводу Ду850 подається в «гарячий» колектор парогенератора, звідки роздається по «U»-подібним змійовикам. Проходячи всередині змійовиків, теплоносієм віддає тепло котельній воді другого контуру ПГ і, охолоджуючись, виходить у «холодний» колектор парогенератора,

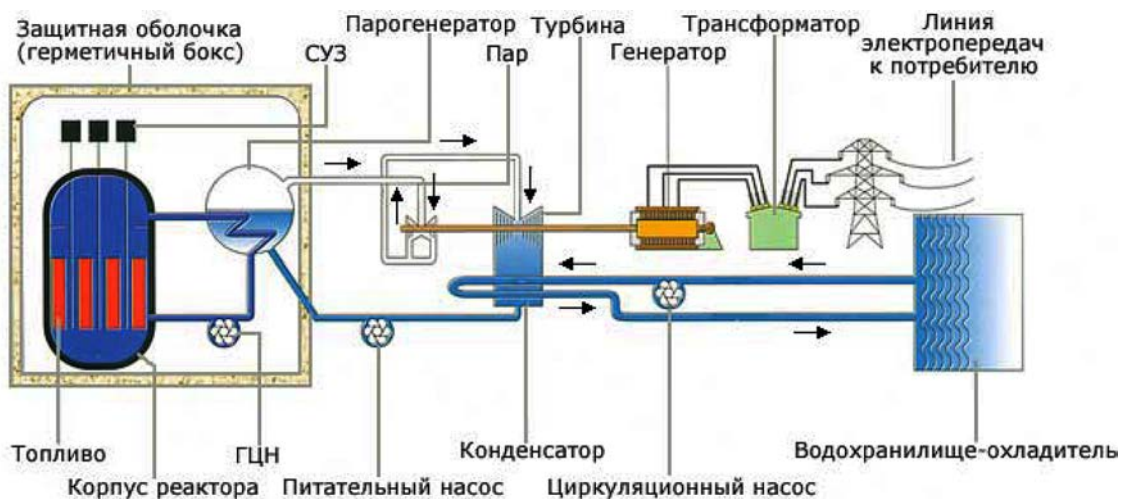


Рис. 1. Технологічна схема енергоблоку з ВВЕР-1000

Теплотехнічні параметри парогенератора в номінальному режимі

Характеристика	Од. вим.	Значення
Теплова потужність	МВт	750±
Паропродуктивність	кг/с (т/год)	408.3 (1470±)
Робочий тиск у міжтрубному просторі по другому контуру	МПа (кгс/см)	6.3(64)
Поверхня теплообміну	м ²	6115
Витрата теплоносія	м/год	20000
Вологість пару на виході	%	0.2
Тиск пару на виході з ПГ	кгс/см ²	64±
Тиск пару на виході з ПГ, розрахунковий	кгс/см ²	80
Тиск по I контуру	кгс/см ²	160±
Тиск по I контуру, розрахунковий	кгс/см ²	180
Температура живильної води	°	220±
Температура генерованого пару	°	278.5±
Температура теплоносія на вході, розрахункова	С	320
Температура теплоносія на виході, розрахункова	С	289.7
Об'єм корпусу	м ³	160
Маса корпусу	кг	204720
Середній тепловий потік	ккал/м ² год	106600
Максимальний тепловий потік	ккал/м ² год	195000
Коефіцієнт теплопередачі (середній) з урахуванням відкладень	ккал/м ² год°С	4657.7
Коефіцієнт теплопередачі (середній) без урахування відкладень	ккал/м ² год°С	5185
Ємність корпусу	л	124600
Ємність трубної частини	л	23400

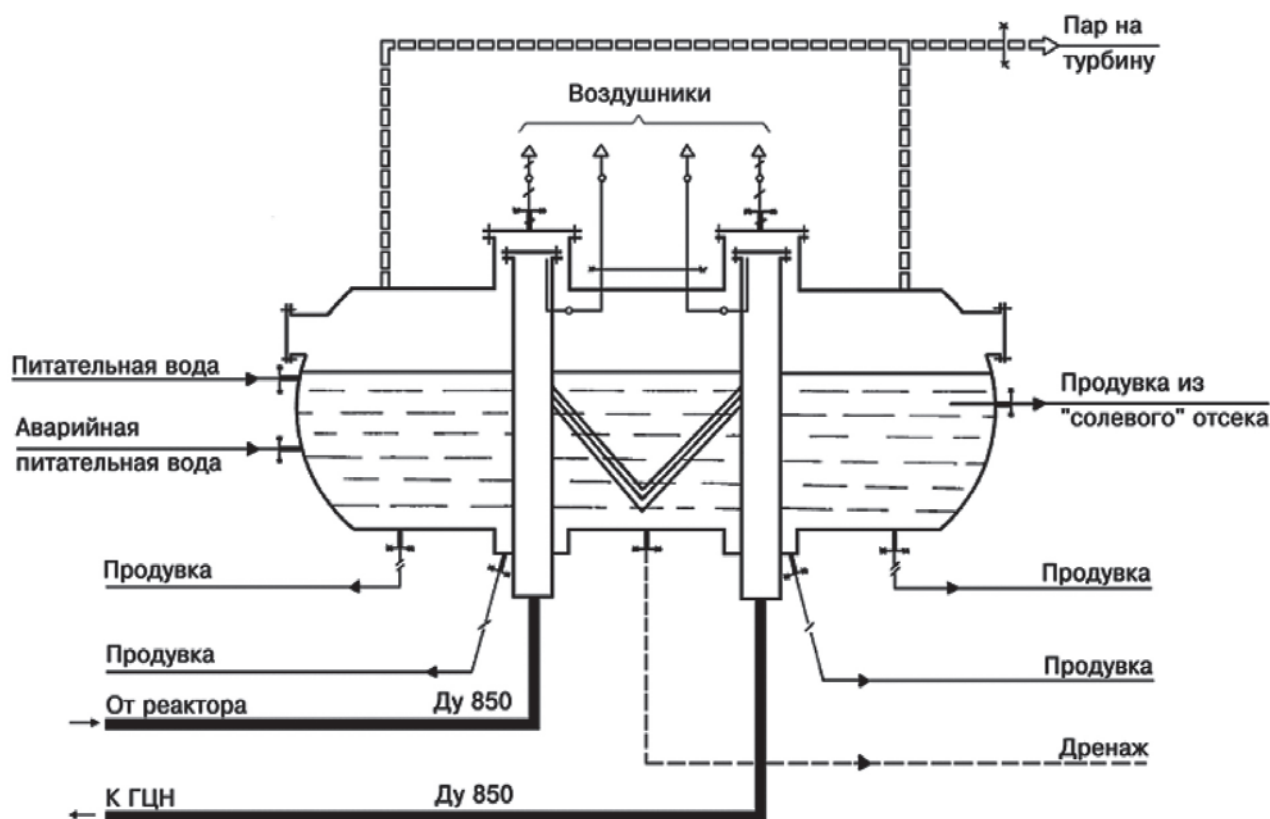


Рис. 2. Спрощена схема включення ПГ до ГЦК

подається в «холодну» нитку головного циркуляційного трубопроводу Ду850 на вхід головного циркуляційного насоса. Живильна вода по трубопроводу Ду400 подається в парогенератор, звідки через пристрій роздачі надходить на гарячу сторону теплообмінного пучка, чим досягається часткове вирівнювання парового навантаження по перерізу парогенератора за рахунок конденсації частини пари. Циркуляція води котла в парогенераторі природна. Пар, виходячи з дзеркала випаровування, осушується в паровому об'ємі за рахунок гравітаційних сил і надходить у жалюзійний сепаратор, де додатково осушується до необхідного ступеня. Осушена пара виходить із парогенератора через 10 парових патрубків у колектор, звідки пара по паропроводах подається на турбіну.

Теплотехнічні параметри парогенератора в номінальному режимі наведені в таблиці 1.

Передача теплоти в ПГ через поверхню трубопроводу вимагає перепаду температур між теплоносієм і робочим тілом. Прагнення не допустити кипіння в реакторі вимагає створення тиску в першому контурі істотно вищого, ніж у другому контурі. З цієї причини параметри робочого тіла на двоконтурній АЕС із ВВЕР завжди нижчі за параметри теплоносія.

Регулювання живлення парогенератора зводиться до підтримки матеріального балансу між відводом пари, продувкою, подачею живильної води та енергетичного балансу між кількістю енергії, яка надходить з боку першого контуру та витрачається на утворення пари, та внутрішніх втрат [3, с. 10]. Параметром, який характеризує матеріальний баланс, є рівень води в парогенераторі.

До стабілізації рівня висуваються жорсткі вимоги. Для ПГВ із ВВЕР-1000 номінальний рівень складає 2450 мм від внутрішньої поверхні корпусу. Точність підтримки рівня в статичних режимах складає ± 50 мм від номінального рівня, в динаміці – ± 150 мм від номінального рівня (з урахуванням нечутливості регулятора). Підвищення рівня води не допускається через затоплення та порушення роботи сепараційних пристроїв (заброд води в турбіну), а зниження рівня – через оголення поверхонь нагріву.

Збурюючими впливами на рівень є:

- Зміна витрати пари.
- Зміна витрати живильної води.
- Зміна теплопідводу зі сторони першого контуру.

Регулюючим впливом є зміна положення живильного клапана, встановленого на трубопроводі живильної води [4, с. 9].

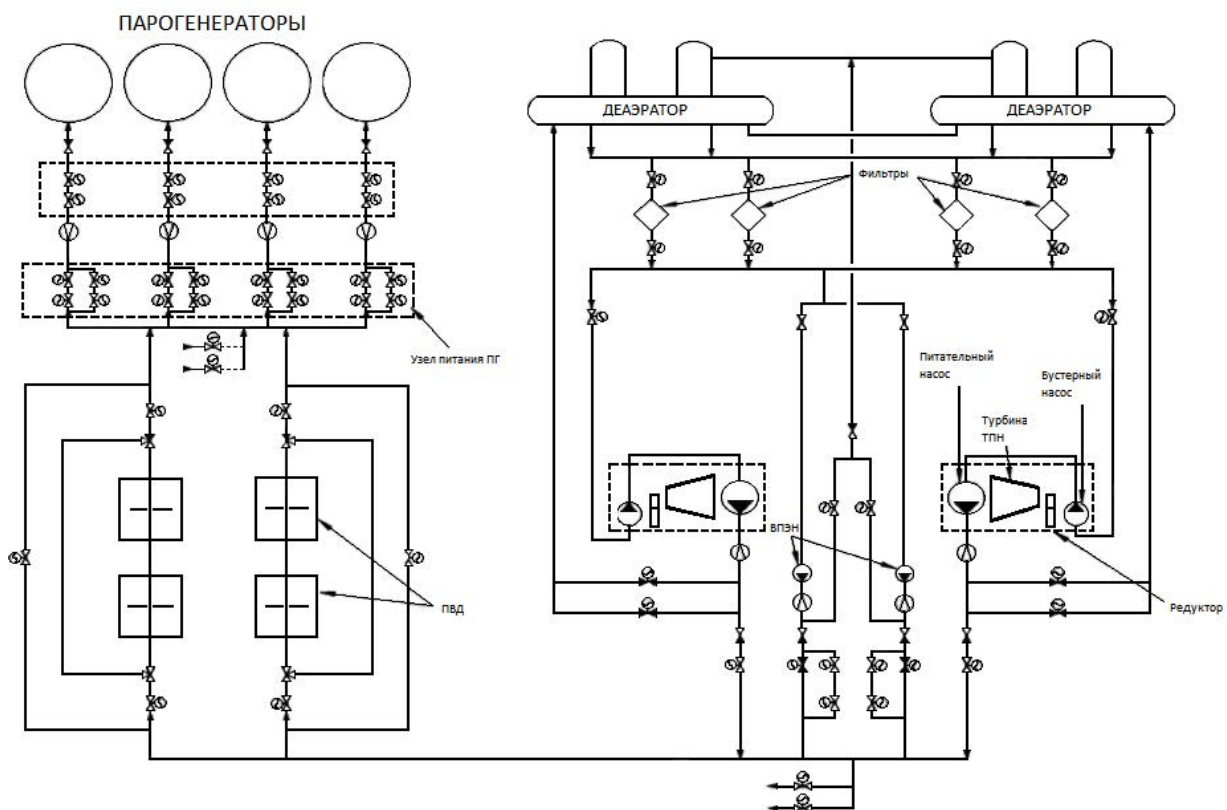


Рис. 3. Система живильної води енергоблоку з реактором ВВЕР-1000

Система живильної води (рис. 3) призначена для надійної подачі необхідної кількості живильної води в ПГ із деаераторів підвищеного тиску через трубні системи ПВД.

Система живильної води складається з двох деаераторів підвищеного тиску; чотирьох фільтрів живильної води (3 з них постійно в роботі, 1 – у резерві); двох головних живильних насосів (далі – ТПН) і двох допоміжних живильних електронасосів (далі – ВПЕН); системи регенерації високого тиску (дві групи по два ПВД в кожній); вузла живлення, який складається з індивідуальних регуляторів рівня води в ПГ з основними лініями подачі живильної води в ПГ і байпасними лініями подачі живильної води в ПГ із відсікаючими засувками на цих лініях; трубопроводів та арматури.

Для блоків ВВЕР-1000 повного резервування живильних насосів не передбачено. Обидва встановлених живильних насоси працюють на загальний живильний колектор. При виході з ладу одного з них на 40% знижується потужність блоку. Відсутність резервування пояснюється вибором для цих насосів турбоприводу. Багатоступінчасті турбіни вимагають прогріву перед пуском і тому не можуть використовуватися як резервні.

Математична модель.

Рівняння енергетичного балансу:

$$Q_{np\ i} = G_{1\kappa\ i} * Cp * (t_2 - t_{x\ i})$$

$$Q_{cm\ i} = G_{n\ i} * i_n$$

$$Q_i = K * R_i * S * (t_2 + t_{x\ i}) / 2 - t_{нас}$$

де:

$Q_{np\ i}$ – тепло від реактора;

$G_{1\kappa\ i}$ – витрата теплоносія першого контуру;

t_2 – температура гарячої нитки теплоносія першого контуру;

$t_{x\ i}$ – температура холодної нитки теплоносія першого контуру;

Cp – теплоємність;

$Q_{cm\ i}$ – тепло до турбіни;

$G_{n\ i}$ – витрата пари;

i_n – ентальпія пари;

Q_i – теплопередача через стінку;

S – площа теплообміну;

R_i – індивідуальний механічний опір парогенератора.

$$R_i = r_{1\ i} + r_{2\ i},$$

де:

$r_{1\ i}$ – статичний опір;

$r_{2\ i}$ – динамічний опір;

K – коефіцієнт теплопередачі;

$t_{нас}$ – температура насичення.

Рівняння матеріального балансу:

$$1) m_{n2\ i} = \rho * V_i - \text{маса води в парогенераторі,}$$

де:

ρ – густина води;

V – об'єм води.

$$2) R = 1 / (1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 + 1 / R_4) - \text{загальний опір,}$$

$$3) \Delta P = G_{зас} * R - \text{перепад тисків до і після парогенератора,}$$

де:

$G_{зас}$ – витрата на загальний колектор живильної води

$$4) G_i = dP / R_i - \text{витрата води на конкретний парогенератор}$$

$$5) t_{нов\ i} = (m_{n2\ i} * t_{n2\ i} + m_{ex\ i} * t_{ex\ i}) - \text{нова температура води в ПГ}$$

$$6) Q_{кум\ i} = (m_{n2\ i} + m_{ex\ i}) * Cp * (t_{кум} - t_{нов\ i}) - \text{теплота, яка витрачається на закипання води}$$

$$7) Q_{зали\ i} = Q - Q_{кум\ i} - r - \text{теплота, яка залишилася}$$

$$8) m_{n\ i} = Q_{зали\ i} / r - \text{маса утвореної пари}$$

де:

r – питома теплота пароутворення.

$$9) m_{n\ i} = m_{n2\ i} + m_{ex\ i} * \chi - m_{n\ i} - \text{нова маса води в ПГ}$$

$$10) H_i = m_{n\ i} / (\rho * V / h) - \text{рівень води в парогенераторі,}$$

де:

h – висота парогенератора;

V – об'єм води другого контуру до повного заповнення ПГ.

$$11) N_{\rho\ i} = m_{n\ i} * H_{\rho\ i} * \eta_m^m * \eta_e - \text{нова маса пари в перерахунку на потужність,}$$

де:

H_{ρ} – дійсний теплоперепад;

η^m – механічний ККД турбіни;

η_e – ККД електричного генератора.

13) Електрична потужність порівнюється із заданою, здійснюється регулюючий вплив на засувку, що контролює подачу живильної води. Якщо електрична потужність більша заданої, то зменшується подача живильної води до спільного колектору і навпаки. Необхідно зважати й на інші умови:

– якщо рівень води в ПГ вище номінального, то необхідно зменшити витрату живильної води на цей ПГ, якщо рівень води нижче номінального – збільшити витрату живильної води;

– якщо рівень води у трьох ПГ вищий номінального, то необхідно зменшити потужність турбін ТПНів, якщо нижчий – збільшити, змінивши витрату води на спільний колектор живильної води.

Висновки. Запропонована модель дозволяє відстежувати підтримання енергетичного та

матеріального балансу в парогенераторі, контролювати не лише рівень води в парогенераторах, але й потужність турбіни. Це досягається шляхом регулювання положення засувки живильної води на спільний колектор або на кожен із парогене-

раторів. Така модель може бути використана для розробки алгоритму для АСР рівня води, що може використовуватися не лише з парогенераторами АЕС, а також для роботи із промисловими котлами.

Список літератури:

1. Beglov K.V., Tsiselskaya T.A. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control / *Odes'kyi Politechnichniy Universytet : Pratsi*, 2012. № 1(38). P. 99–106.
2. Войтович О.П. Теоретичні і методичні засади формування технологічної компетентності майбутніх екологів у процесі фахової підготовки : дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02, 13.00.04. Київ, 2018. 457 с.
3. Тодорцев Ю.К., Бундюк А.М., Ларіонова О.С. Математична модель контура теплопостачання когенераційної енергетичної установки: *Автоматика, автоматизація, електротехнічні комплекси та системи*, 2009. № 2. С. 8–11.
4. Петік Т.В., Лисюк Г.П. Автоматична система регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку 1000 МВт атомної електричної станції. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Том 30(69). № 3. Ч. 2. С. 7–13.

Petik T.V., Davydov V.O. DEVELOPING OF A MODEL OF THE PROCESS OF WATER LEVEL CHANGE IN THE STEAM GENERATOR OF THE 1000 MW NUCLEAR POWER PLANT

The article is devoted to the study of the mutual influence of the change in the water level in the steam generator of each of the four loops of the nuclear power plant with WWER-1000. The purpose is to develop a model of the process of changing of the water level in the steam generators of the nuclear power plant with WWER-1000 and the interaction between the steam generators, as well as to modernize the automatic system of regulation of the water level in the steam generator of the nuclear power plant with WWER-1000.

The water level in the steam generator depends on the flow of feedwater, the flow of generated steam and the amount of heat supplied by the first circuit of the power unit of the nuclear power plant with WWER-1000. Maintaining the water level in the steam generator is done by changing the flow rate of the feed water of second circuit. Steering the water level in the steam generator by supplying a control effect on the control valve of the feed water flow to a particular steam generator cannot provide the required accuracy without a proper control algorithm. The main reason for this is that the feed water for the steam generators is supplied from one feed path and the change in the water flow rate for one steam generator leads to a change in the flow rate for all others steam generators.

In the article, the steam generator of the nuclear power plant with WWER-1000 is investigated not only as a complete system but also as part of a more complex system. To study the factors affecting the water level in a steam generator, is considering a group of steam generators of four circulation loops of the first circuit of the power unit of the nuclear power plant with WWER-1000 as a whole system.

Developing of a model of reciprocal effects of changes in water level in steam generators will allow to improve the automatic system of regulation of water level in the steam generator of the nuclear power plant with WWER-1000 and thus to provide quality improvement of regulation and improvement of technical and economic indicators. In particular, the study of this issue will allow to operate the steam generator and the power unit as a whole more effectively.

Key words: steam generator, automatic control system, nuclear power plant, level control, WWER-1000.

Сірий О.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Баранюк О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кобилянська О.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

CFD МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ ТА ГІДРОДИНАМІКИ В СТРУМІНЕВО-НІШЕВІЙ СИСТЕМІ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА

У роботі наведено результати дослідження процесу спалювання газу у струменево-нішевому стабілізаторі полум'я (СНС). Він є основним елементом універсальних промислових пальникових пристроїв, які можуть ефективно застосовуватися у складі широкої номенклатури вогнетехнічного обладнання.

Об'єктом дослідження роботи є процеси гідродинаміки, теплообміну та горіння в СНС. Предметом дослідження – чисельна модель процесу паливорозподілу у стабілізаторі, який реалізовується крутими перпендикулярними до потоку окислювача струменями однорядовою системою отворів.

Моделювання проводилось із застосуванням пакету прикладних програм обчислювальної гідродинаміки Ansys-Fluent. Обчислювальна область є прямокутним каналом із нішевою порожниною на боковій стінці, виконаною у формі трапеції. Перед нішею (за потоком повітря) розміщено один ряд газових отворів. Математична модель досліджуваного процесу містить системи диференціальних рівнянь руху, неперервності та переносу і-го компонента суміші і розв'язується за допомогою чисельних методів у середовищі Ansys-Fluent.

Результати досліджень представлені у вигляді полів температур, концентрацій основних компонентів реакції, осереднених швидкостей і їх пульсацій. В якості визначального розміру для числа Рейнольдса використано еквівалентний діаметр каналу пальника. Аналіз отриманих результатів показує, що в нішевій порожнині під струменями газового потоку утворюється область циркуляції. Основною рисою процесів сумішеутворення в зоні стабілізації СНС є їх автотемпературність. Тобто зі зміною швидкостей потоків окисника та палива концентрація пальної суміші змінюється несуттєво. Результати дослідження свідчать про те, що однорядова система паливорозподілу здатна забезпечити необхідний рівень концентрації пальної суміші та стабільну контрольовану аеродинамічну структуру потоку в області стабілізації процесу згоряння в широкому діапазоні зміни режимних і геометричних параметрів системи.

Ключові слова: струменево-нішева система, оксиди азоту, математичне моделювання, концентрація, метан.

Постановка проблеми. Нині проблема збереження ефективності роботи вогнетехнічного обладнання (ВО) на змінних режимах його експлуатації є важливою й актуальною. Одним зі шляхів її вирішення є проведення його модернізації з упрощенням сучасного паливовикористовуючого обладнання. Визначальним напрямом у цій ситуації є орієнтація на вітчизняні технології, які вигідно відрізняються від імпорتنих аналогів за рахунок кращої адаптованості до ВО, більш сприятливою ціною політикою вітчизняних виробників [1].

Поряд із проблемами, пов'язаними з необхідністю пошуку альтернативних палив та економії

дефіцитних енергоресурсів, до паливовикористовуючого обладнання висуваються вимоги стосовно розширення меж потужності за рахунок зниження пускових тисків палива, при збереженні нормативних показників щодо емісійних характеристик, а також ефективності вигорання палива. Тому розуміння закономірностей утворення шкідливих речовин і можливість прогнозування їх емісії при зміні співвідношення витрат палива і окисника в суміші є одними з основних питань забезпечення норм охорони навколишнього середовища.

Пальниковий пристрій (ПП) здебільшого визначає ефективність роботи ВО та рівень

концентрації шкідливих речовин у відхідних газах. З метою зниження викидів шкідливих речовин розробляються пальники складної конструкції зі збільшенням числа зон горіння, кожна з яких оптимізується на певний режим роботи. Встановлено, що тільки у вузькому діапазоні температур (1650–1900 К) можна одночасно домогтися необхідних рівнів викидів NO_x і CO [2].

З огляду на неоднозначність впливу на робочий процес ВО таких основних факторів, як тиск у камері згоряння, температура та вміст кисню в окиснику, тепловантаження робочого об'єму та коефіцієнт надлишку повітря, поведінка емісійних характеристик ВО потребує досконалого дослідження та більш глибокого аналізу. Використання методів інтенсифікації процесу сумішоутворення та реалізації мікродифузійного спалювання палива є одним із ефективних факторів впливу на емісію токсичних окислів азоту [3].

Реалізація дифузійно-кінетичного (мікродифузійного) механізму спалювання газу ВО досягається, наприклад, упровадженням струменево-нішевої технології (СНТ), розробленій на основі досліджень, які проводяться в Лабораторії горіння ТЕФ КПІ ім. Ігоря Сікорського. СНТ є універсальною технологією спалювання газоподібного палива, впровадженням у промисловість якої і подальшим вивченням її особливостей займається ТОВ «Виробниче об'єднання «Струменево-нішева технологія» (м. Київ) [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині проведено модернізацію значної кількості ВО України та зарубіжжя. Вже модернізовано об'єкти міських тепломереж Житомира, Луганська, Алчевська, Івано-Франківська (рис. 1).

Аналіз робіт іноземних авторів свідчить, що з 2000 року значна кількість науково-дослідних робіт була виконана за допомогою комп'ютерного моделювання. Автори доводять, що воно дозволяє коректно вивчити режими роботи й оптимізувати як проєктоване, так і реконструйоване енергетичне обладнання. Слід пам'ятати, що одночасне використання комп'ютерного моделювання і фізичного експерименту дає можливість отримати найбільш повну й достовірну інформацію про предмет дослідження. При цьому суттєво скорочуються затрати на проведення експериментальних і дослідних робіт [5].

За тематикою роботи в доступній літературі є статті, пов'язані з дослідженням тепло- і масообміну при спалюванні вугілля в топках котельного агрегату. Наприклад у роботі [6] виконувалося чисельне моделювання концентрації NO_x у

топках котла при варіюванні розташування пальників. При цьому не було зазначено, для якого конкретно котла проводилось моделювання, не було проведено порівняння з експериментальними даними.

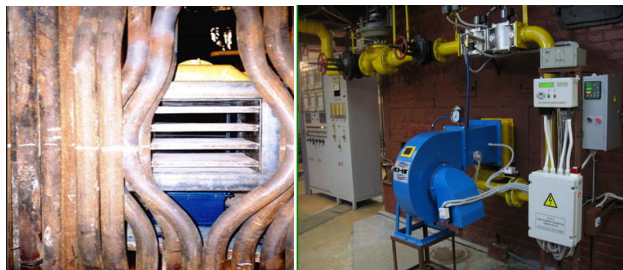


Рис. 1. Пальник струменево-нішевого типу

Досить ґрунтовною є робота [7], присвячена дослідженню топкових процесів у котлі БКЗ-420-140 Омської ТЕЦ-4 при спалюванні проєктного і альтернативного палива на основі математичного моделювання засобами прикладного програмного пакета FIRE 3D. Автори виконали аналіз отриманих результатів у тривимірній постановці для кожного виду палива і порівняли отримані дані з результатами розрахунку за нормативними документами. В якості палива у роботі використовувалося екібастузьке і кузнецьке вугілля. Тому роботу слід вважати прикладом виконання робіт такого складу. У роботах [8; 9] засобами того ж програмного комплексу автори досліджували вплив тангенційно розташованих пальників при спалюванні вугілля і природного газу. Ці та багато інших робіт виконані із застосуванням методів CFD-моделювання без використання якісних експериментальних даних.

Моделюванню робочих процесів у топці парового водотрубного котла ДЕ 10/14 з метою пошуку шляхів зниження окислів азоту присвячені роботи [10; 11]. Результати свідчать, що на утворення шкідливих викидів впливає надлишок повітря, пірометричний рівень у топковій камері, час перебування палива й окислювача в зоні високих температур. Використовувався пальник ГМГ-7 продуктивністю 728 м³/год природного газу, в якому була реалізована вихрова структура факелу з можливістю зміни його протяжності. Проте автори надають дані про викиди окислів азоту з топки котла. Недостатньо уваги приділяється тим процесам, які відбувається саме в пальнику.

Найбільш близькою до тематики статті є робота [12], де автори визначали екологічність спалювання біогазу у камері згоряння газової турбіни 100 kWe MGT. Автори наводять числові значення викидів NO_x, на які можна орієнтуватися

при аналізі результатів цієї роботи, особливо при спалюванні збіднених сумішей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Мета роботи – поглибити уявлення про процеси утворення шкідливих оксидів при спалюванні газоподібних палив у струменево-нішевому стабілізаторі полум'я. У роботі [13] проведено числове дослідження процесів гідродинаміки та сумішоутворення пального та окисника у СНС. Виконано дослідження структури потоку суміші при використанні спеціально спрофільованої нішевої порожнини. Ця робота є розвитком попередніх досліджень, основним завданням якої є визначення у кількісному співвідношенні характеру розподілу окислів азоту за ПП і проведення зіставлення отриманих даних із результатами експериментальних досліджень.

Для розрахунку викидів NOx авторами була розроблена CFD-модель процесу, який відбувається в СНС (рис. 2). В загальному випадку вона містить геометричну модель СНС, створену на її основі скінченно-елементну модель із граничними умовами й математичним описом розрахункового процесу, реалізованого засобами ANSYS-Fluent.

У роботі виконані дослідження режимів стабілізації полум'я одиночним струменем, розміщеним перед нішевою порожниною. Результати наведені на рис. 2.

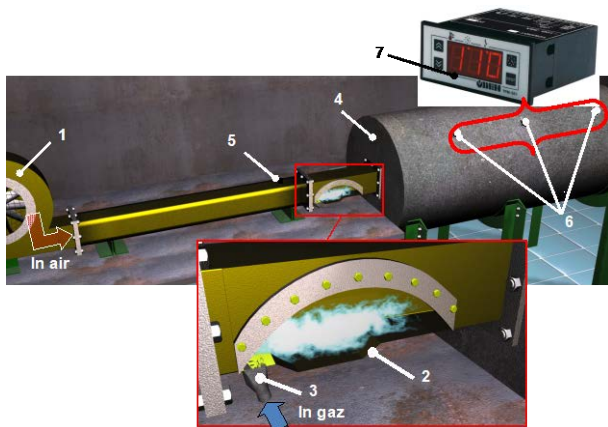
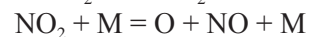
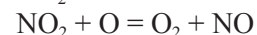
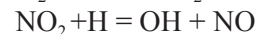
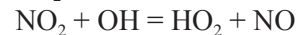
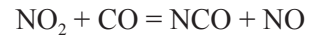


Рис. 2. Модель лабораторної установки для дослідження процесів горіння в СНС: 1 – вентилятор, 2 – СНС, 3 – система паливорозподілу, 4 – корпус вогнетривкої ділянки; 5 – відбори статичного та повного тисків; 6 – термопари; 7 – вимірювач сигналів термопар

Математична модель процесу, який досліджується, містить системи диференціальних рівнянь руху, нерозривності і переносу i-го компонента суміші та розв'язується чисельними методами в середовищі Ansys-Fluent. При моделюванні використовувалася стандартна методика прогно-

зування утворення NOx засобами цього програмного комплексу, було враховано такі основні механізми утворення оксидів азоту [14; 15]:

1) термічний механізм, який включає окислення N₂ відповідно до ланцюга механізму Зельдовича і взаємодії атомів N із радикалами OH, а також механізми N₂O, NO₂ і NO; механізм N₂O визначається групою реакцій, у яких N₂O є проміжною речовиною при утворенні NO. Механізм NO₂ призводить до утворення NO шляхом таких реакцій:



2) механізм NO визначається взаємодією «швидких» оксидів азоту, які утворюються при горінні палива у фронті полум'я в результаті взаємодії N₂ з радикалами CH і CH₂, які з'являються при руйнуванні складних молекул вуглеводневого палива.

Засобами ANSYS-Fluent розраховуються рівні термічних і швидких NOx. Модель враховує турбулентно-хімічну взаємодію компонентів і дозволяє обчислювати рівні NOx з урахуванням впливу турбулентних пульсацій при осередненій за часом швидкості реакції. Для прогнозування концентрації радикала O, необхідного для прогнозування температурних NOx, використовується модель часткової рівноваги. Вуглецеве число палива (число атомів вуглецю у молекулі палива) позначається цифрою 1, а коефіцієнт еквівалентності (визначає співвідношення паливо-повітря відповідно до стехіометричних умов) обраний рівним 0,76. Ці параметри використовуються при розрахунку швидкості утворення NOx.

В якості алгоритму розв'язку був обраний алгоритм встановлення (Pressure Based Implicit). Розрахунок зроблений у стаціонарній постановці (Steady). Це припущення має на меті скорочення ресурсів і часу, який витрачається на розрахунок.

Теплофізичні властивості реагуючих компонентів (у цьому випадку повітря і метан) задавалися у вигляді поліноміальної залежності від значення температури. Для розглянутого класу задач високою обчислювальною ефективністю володіє Realisable k-ε модель турбулентності. Цю модель автори й використовували в якості розрахункової. В якості граничних умов на непроникних стінках задавалося умова рівності нулю всіх компонентів вектора швидкості, таким же чином задавалася й температура стінки. На вході в розрахункову

область задавалася масова витрата і температура (Massflow inlet), на виході – статичний тиск (Pressure outlet).

З метою визначення впливу на процес горіння й утворення NOx при обчисленні за допомогою CFD-моделі змінювався коефіцієнт надлишку повітря α . Швидкості потоків газу і повітря, необхідні для розрахунку цього коефіцієнта, наведені в таблиці 1. Там же містяться й експериментальні дані значень NOx, необхідні для верифікації CFD-моделі [14].

На рис. 3 зображено CFD-модель струменево-нішевого стабілізатора полум'я, який є об'єктом дослідження. Модель – комп'ютерна копія лабораторного стенду, на якому проводились експериментальні дослідження гідродинаміки, сумішоутворення і горіння у струменево-нішевій системі. На цьому ж стенді проводилось визначення концентрації NOx на виході з дослідної ділянки за допомогою газоаналізатора Testo 330-1 LL.

До складу лабораторного стенду входить низьконапірний вентилятор, який подає повітря в ізотермічний канал квадратного перерізу з розміром стінки 70 мм. Канал виконаний довжиною 700 мм з огляду на необхідність формування профілю швидкості потоку перед стабілізатором. Газорозподіл виконується через один ряд паливних отворів (7 отворів діаметром 3 мм), через які перпендикулярно у потік окисника подається природний газ. У СНС відбувається сумішеутворення та стабілізація процесу горіння, догорання палива завершується у жаровій трубі. Процес горіння характеризується формуванням просторово розвиненого і протяжного факела, довжина і конфігурація якого змінюється залежно від співвідношення витрат палива і окислювача. На виході із жарової труби горючі гази направляються у витяжний канал [13].

Скінченно-елементна сітка моделі враховує розвиток примежового шару на поверхнях стінок струменево-нішевого стабілізатора полум'я і жарової труби. Область поза примежовим шаром моделювалася за допомогою нерівномірної тетраедричної сітки. При цьому скошеність (Skewness) не перевищувала 0,8, а співвідношення сторін (AspectRatio) кінцевих елементів – 40. Для збіль-

шення швидкості розрахунку модель була поділена на дві окремі розрахункові області. Одна з них містить попередньо включену стабілізуючу ділянку (рис. 3а), а друга – струменево-нішеву систему та жарову трубу (рис. 3б).

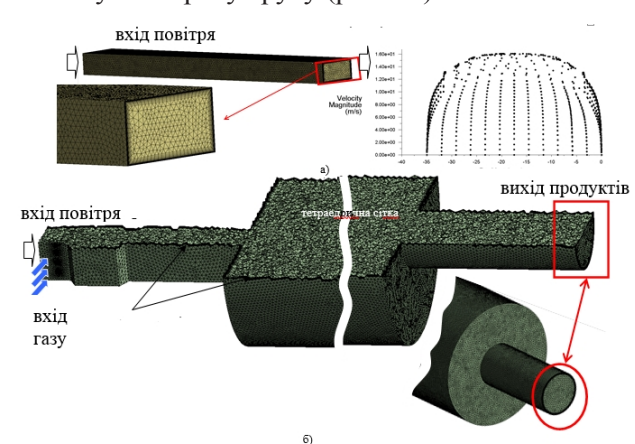


Рис. 3. Скінченно-елементна сітка стабілізуючої ділянки (а) та СНС із вогнетривкою ділянкою (б)

Для візуалізації результатів досліджень процесу горіння в СНС використовувалися значення середніх швидкостей і температур суміші та розподілу окислів азоту. Також наведена візуалізація розповсюдження метану в ніші і за пальником. Аеродинамічна структура потоків в області стабілізації процесу горіння наведена на (рис. 4). Збільшення швидкості руху струменів метану призводить до інтенсивного перемішування суміші за рахунок турбулізації відривного шару. Крім того, в нішах і кавернах, які омиваються потоком при великих числах Рейнольдса, спостерігається інтенсивна циркуляційна течія [16].

Слід зазначити, що експериментальна візуалізація обтікання потоком нішевої порожнини виконувалася тільки за умов ізотермічних продувок. Далі наведено гідродинамічну картину течії за умов хімічного реагування компонентів горіння. Результати на рис. 4а свідчать, що поблизу передньої кромки ніші по ходу потоку можна спостерігати вихор, який займає 1/4 її площі. При зменшенні швидкості метану (рис. 4б) значно зменшується інтенсивність перемішування потоку в ніші. Про це свідчить наявність значно меншого, порівняно з попереднім випадком, вихору.

Таблиця 1

Експериментальні значення концентрацій NOx на виході із жарової труби [13]

α	1,12	1,27	1,62	2,00	2,62
w_{O_2} , м/с	61,5	56	40,5	32	20
w_{H_2} , м/с	13,2	13,7	12,6	12,2	13,9
NOx, ppm	45	43	30	11	1

Від аеродинамічної структури потоку залежить розподіл компонентів, які беруть участь у реакції горіння. Як свідчать рис. 5 і 6, масова частка метану в перерізі пальника і в ніші залежить від швидкостей реагуючих потоків. Так, для співвідношення швидкостей метан-повітря, що відповідає коефіцієнту надлишку повітря $\alpha = 3,62$ (табл. 1) спостерігається наявність у ніші одного вихору поблизу передньої кромки ніші по ходу потоку. При цьому потік «притискає» метан до ніші (рис. 5а). У випадку, коли швидкість струменів палива сягає 61,5 м/с за швидкості потоку повітря 13,2 м/с ($\alpha = 1,12$) картина течії змінюється – лінії току струменя метану практично не деформуються (рис. 5б). Потік метану рухається паралельно стінкам пальника, а в ніші створюються умови для інтенсивного перемішування суміші.

Про інтенсивне перемішування потоку поблизу передньої кромки ніші свідчить також рис. 6. У випадку, коли коефіцієнт надлишку повітря становить 1,12, поблизу передньої кромки ніші знаходиться область площею 1/2 площі ніші, в якій спостерігається наявність від 1 до 6% кисню (рис. 6а). Зі зменшенням швидкості метану область у перетині, який розглядається, зменшується, а при $\alpha = 3,62$ – вироджується (рис. 6б).

Результати підтверджують, що ніша в СНС є зоною активного горіння. Займання палива і стабілізація факелу відбувається саме в ніші, і далі полум'я розповсюджується вглиб за потоком. Протяжність розповсюдження факелу залежить від співвідношення швидкостей метан-повітря (рис. 7).

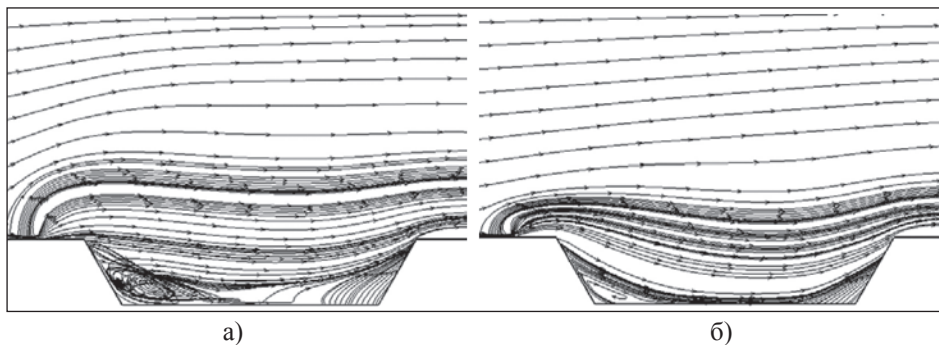


Рис. 4. Траскторії руху частинок суміші в зоні стабілізації полум'я при: а – $\alpha = 1,12$; б – $\alpha = 3,62$

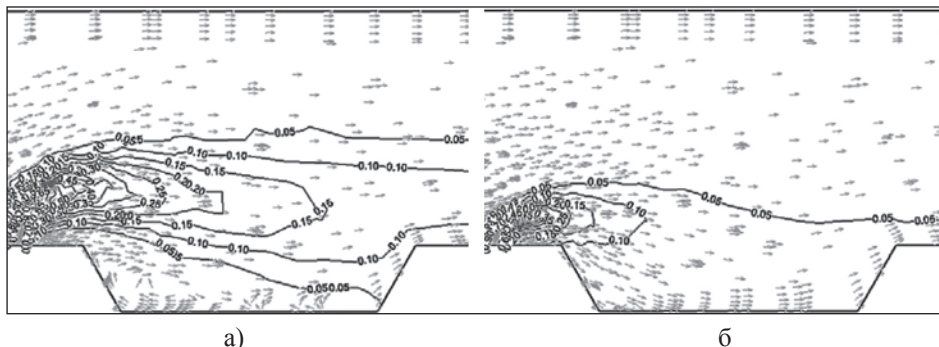


Рис. 5. Масова частка метану в зоні стабілізації полум'я при: а – $\alpha = 1,12$; б – $\alpha = 3,62$

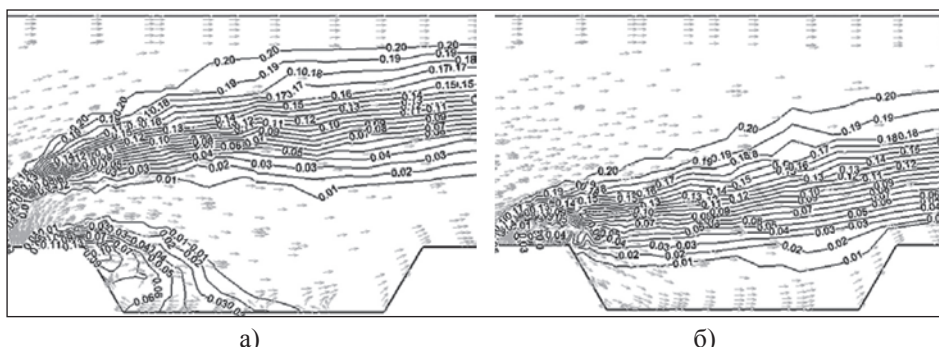


Рис. 6. Масова частка кисню в зоні стабілізації полум'я при: а – $\alpha = 1,12$; б – $\alpha = 3,62$

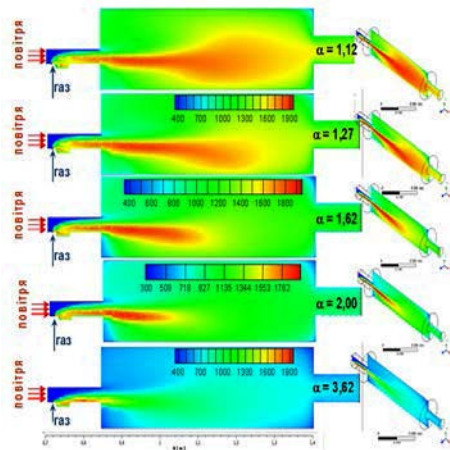


Рис. 7. Розподіл температур потоку у поздовжньому перерізі моделі

Як свідчить рис. 7, збільшення коефіцієнту надлишку повітря суттєво скорочує довжину факелу. Експериментальні вимірювання температури суміші вздовж жарової труби свідчать, що рівень температур не перевищує 1220°C для $\alpha = 1,12$ і 860°C для $\alpha = 1,12$. Розрахунки за допомогою CFD-моделі показують, що при $\alpha = 1,12$ рівень температур у центрі жарової труби сягає 1320°C, а для $\alpha = 3,62$ – 720°C. Тобто відхилення даних CFD-моделювання від експериментальних не перевищують 10%. Приведені результати дозволяють провести аналіз емісії окислів азоту з точки зору термічного механізму їх утворення (рис. 8).

Розподіл утворення NOx у палинковому пристрої і жаровій трубі наведено у вигляді кількості частин на мільйон (промиле) – NO [ppm]. NO [ppm] у цій роботі обчислювалося за допомогою такого рівняння:

$$NO \text{ ppm} = \frac{No \text{ mole fraction} \times 10^6}{1 - H_2O \text{ mole fraction}}, \quad (1)$$

Розподіли мольної концентрації окислів азоту і водяної пари, які включені у залежність (1), обчислювалися засобами ANSYS-Fluent. Отриманий завдяки розрахунку за (1) розподіл утворення NOx наведений на рис. 8. Результати свідчать, що зі збільшенням коефіцієнта надлишку повітря генерація викиду окислів азоту пригнічується. Для $\alpha = 1,62, 2,00, 3,62$ максимум викидів спостерігається в зонах із високими температурами, що не суперечить існуючим уявленням про «термічний» характер розповсюдження окислів азоту. Для досліджених випадків, коли коефіцієнт надлишку повітря знаходиться в діапазоні 1,1–1,2, максимум інтенсивності генерації окислів азоту зміщується

в кінець факелу. Це можна пояснити збільшенням часу перебування молекул окислювача у високо-температурній зоні.

Характер розподілу NOx здебільшого формується гідродинамікою потоку пального та окисника у дослідній ділянці. Так, вільний кисень повітря, який не взаємодіє з горючими компонентами палива, транспортується в основному у прошарку повітря над зоною паливорозподілу, тому безпосередньо починає взаємодіяти з азотом далі за потоком по мірі протікання процесу і зміщується до хвостової частини футерованої ділянки. Для того, щоб була можливість порівняти експериментальні дані з даними розрахунку за допомогою CFD-моделі, останні необхідно осереднити по площі вихідного перерізу. Процедура осереднення по площі теплофізичних параметрів в ANSYS-Fluent організована таким чином:

$$\overline{[NOx]_{ppm}} = \frac{1}{A} \int [NOx]_{ppm} dA, \quad (2)$$

де A – площа перерізу чарунки m^2 , $[NOx]_{ppm}$ – значення викидів окислу азоту, обчислені в одиницях вимірювання ppm за допомогою функції користувача в ANSYS-Fluent.

Отримані шляхом розрахунку за допомогою залежності (1) дані CFD-моделювання порівнювалися з експериментальними даними [13] на рис. 9а. Аналіз наведених результатів свідчить, що порівняно з даними експериментальної роботи [13], розроблена CFD-модель досить точно прогнозує поведінку окислів азоту.

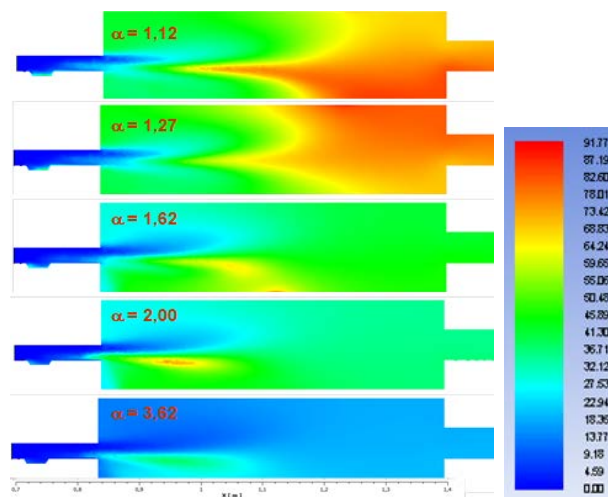


Рис. 8. Поле концентрації окислів азоту в центральному перетині дослідної ділянки

На рис. 9б також наведена залежність $NOx = f(\alpha)$ як для експериментальних даних [3], так і для даних CFD-моделювання. Рис. 9б

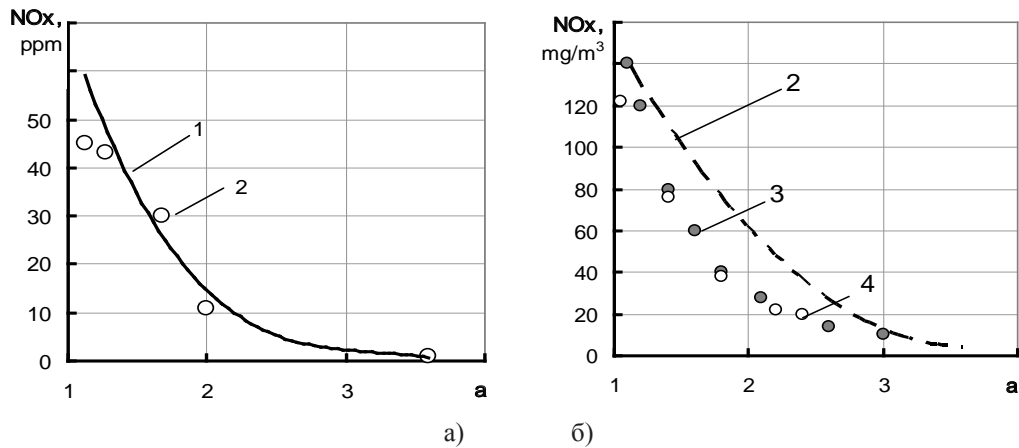


Рис. 9. Верифікація числового експерименту щодо емісії NOx: а – порівняння чисельних та експериментальних результатів; б – порівняння СНС із паливними трубчастого типу конструкції КПІ; 1 – дані CFD-моделювання, 2 – експериментальні дослідження СНС [13], 3 – ТМД; 4 – ТМДН [3]

наведено з метою порівняння екологічності СНС із паливом – конструкції КПІ на основі трубчастої технології спалювання газу, яка розроблена авторами [3]. Загалом наведені типи стабілізаторів полум'я мають в основі подібний принцип стабілізації факелу, який реалізовано шляхом взаємодії пальної суміші з погано обтічним тілом, але з певними відмінностями. Основна різниця полягає в тому, що у трубчастих модулях стабілізація полум'я відбувається у тороїдальному вихорі при виході потоку повітря у канал, який розширюється, а в СНС – у каверні на стінці каналу. Крім того, наведені на рис. 9б результати стосуються трубчастих модулів, у яких паливо вводиться безпосередньо у зону вихороутворення, тобто зону з підвищеним рівнем турбулізації потоку, тоді як у СНС струмені палива безпосередньо не взаємодіють із вихровою структурою у нішевій порожнині.

На рис. 9б цифрою «3» позначено рівень викидів азоту на виході з модуля дифузійного типу без внутрішньої вставки (тип ТМД), а цифрою «4» – ті ж дані для модуля дифузійного типу з внутрішньою вставкою (тип ТМДН). Аналіз рис. 9б свідчить, що характер залежності $\text{NO}_x = f(\alpha)$ для СНС загалом співпадає з даними, наведеними в літературі, проте на межі обраного діапазону α значення NO_x для СНС і ТМД співпадають повністю, а в середині обраного діапазону α концентрація NO_x майже на 40% є нижчою. Така різниця пояснюється відмінностями організації процесу сумішоутворення у стабілізаторах і додатковою інтенсифікацією процесів переносу при введенні палива в зону вихрової стабілізації палива, різними умовами проведення вимірювань (об'єм камери згоряння, питома тепло напруга робочого об'єму). Таким чином, було підтверджено важливість мак-

симальної гомогенізації пальної суміші з точки зору мінімізації утворення окислів азоту у продуктах спалювання.

Висновки. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити такі висновки:

1) проведені комп'ютерні розрахунки процесів гідродинаміки потоку суміші за умови проходження хімічного реагування загалом задовільно узгоджуються з існуючими уявленнями щодо картини взаємодії струменевого «екрану» палива з потоком окисника за умови проходження горіння потоку пальної суміші;

2) результати моделювання процесів сумішоутворення в СНС підтверджують наявність горючого концентраційного поля в зоні нішевої порожнини при зміні режимних параметрів системи у широкому діапазоні їх значень;

3) запропонована математична модель утворення шкідливих NO_x забезпечує достатню для подальших промислових досліджень точність визначення впливу геометричних і режимних параметрів системи на рівень викидів при узгодженні результатів розрахунків з експериментальними у межах похибки не більше 10%;

4) наведені числові результати підтверджують ефективність досліджуваного стабілізатора полум'я щодо забезпечення сталості горіння без зривів полум'я в широкому діапазоні робочих навантажень системи;

5) підтверджено необхідність інтенсифікації процесів переносу та гомогенізації пальної суміші з точки зору зменшення концентрації окислів азоту у відхідних газах;

6) дані CFD моделювання можуть бути використані при проектуванні енерго-екологічного газопальникового обладнання на основі СНТ.

Список літератури:

1. Абдулин М.З. Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках. Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. 2005, № 6, С. 130–144.
2. Baukal C.E. Industrial Burners Handbook. Charles E. Baukal. London, New-York, Washington D. C. CRC Press, 2003. 221 p.
3. Любчик Г.Н., Говдяк Р.М., Микулин Г.А., Зарицкий А.А. Экологический аудит газогорелочных устройств на основе применения метода базовых характеристик эмиссии NOx и CO. Экотехнологии и ресурсосбережение. 2007, № 4, С. 64–70.
4. Абдулин М.З., Дворцин Г.Р., Тепляков И.Б., Строкин В.Н. Горелочное устройство на основе саморегулирующейся системы смесеобразования и стабилизации пламени. Труды IV международной научно-технической конференции «Комплексная автоматизация промышленности». 1990, С. 12–16.
5. Кобзарь С.Г., Халатов А.А. Снижение выбросов оксидов азота в газовых котлах методом рециркуляции дымовых газов. Пром. теплотехника. 2009, Т. 31, № 4, С. 5–11.
6. N. Chernetskaya, M. Chernetskiy and A. Zhukov. Effect of the reburning zone stoichiometry on the NOx concentration at the three-Stage combustion of pulverized coal. doi: 10.1051/mateconf/2016727201022.
7. Гиль А.В., Заворин А.С., Красильников С.В., Обухов С.В., Старченко А.В. Исследование аэродинамики и горения в топке котла БКЗ-420-140 применительно к вариантам замещения проектного топлива. Известия Томского политехнического университета. 2007, Т. 310, № 1, С. 175–181.
8. Заворин А.С., Бетхер Т.М., Лебедев Б.В. Анализ топочной среды котла БКЗ-210-140 на основе численного моделирования. Известия Томского политехнического университета. 2011, Т. 319, № 4, С. 50–55.
9. Тайлашева Т.С. Моделирование топочной среды в котле типа ДКВР при сжигании природного газа. Известия Томского политехнического университета. 2009, Т. 34, № 4, С. 42–47.
10. Redko A.A., Davidenko A.V., Pavlovskiy S.V., Kulikova N.V., Pavlovskaya A.A., Redko I.A. Simulation of Working Processes in the Water-Tube Boiler Furnace with the Purpose of Reducing Emissions of Nitrogen Oxides. Problemele energeticii regionale. 2017. Vol. 1(33), P. 54–65.
11. Редько А.О., Давіденко А.В., Павловський С.В., Костюк В.Є. Моделирование аэродинамических процессов водотрубного парового котла ДКВР (ДЕ)-10/14. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2016, № 44(1216), С. 54–65. DOI: 10.20998/2411-0558.2016.44.07.
12. Vincenza Liguori, Numerical investigation: Performances of a standard biogas in a 100 kWe MGT. Energy Reports, 2(2016) P. 99–106.
13. Сірий О.А. Вплив параметрів струменево-нішевої системи на робочий процес пальникових пристроїв: Дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / НТУУ «ХПІ». Київ, 2016. 199 с.
14. Zhao D., Yamashita H., Kitagava K., Arai N., Furuhashi T. Behavior and effect on NOx formation of OH radical in methane-air diffusion flame with steam addition. Combustion and Flame. 2002, vol. 130, P. 352.
15. Матвеев С.Г., Лукачев С.В., Орлов М.Ю., Чечет И.В., Красовская Ю.В. Расчет образования CO и NOx в камерах сгорания ГТД. Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева, 2012. 41 с.
16. Абдулин М.З. Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках. Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. 2005. № 6. С. 130–144.

Siryi O.A., Baranyuk O.V., Kobylanska O.O. CFD SIMULATION OF HEAT EXCHANGE AND HYDRODYNAMICS IN THE JET-NICHE SYSTEM OF FUEL BURNING

The main issue of the work is studying effects of natural gas combustion in the jet-niche flame stabilizer (JNS). JNS is the main part of universal industrial burning devices implemented on many types of gas burning systems. The main object of the study is hydrodynamic parameters of the flow in the niche flame stabilizer based on the JNS. As a subject of research was a numerical model of gas distribution of fuel by circular jets fed perpendicularly to the carrying oxidizer stream through a single-row system of holes.

The simulation was performed with using of numerical methods with Ansys-Fluent application software. The computational domain represented a channel with a trapezium-shape niche in front of which (along the air flow) there is one row of gas holes. The mathematical model of the process under study contains systems of differential equations of motion, continuity and transfer of the i-th component of the mixture and is solved by means of numerical methods in the Ansys-Fluent environment.

The research results are presented in the form of temperature distributions, components of the reacting data, average velocities and their pulsations in the central part of the niche cavity. The equivalent diameter of

the burner channel was chosen as the determining size in the Reynolds number. The flow velocity in the center of the burner channel was chosen as the determining speed.

The analysis of the results shows that a circulation flow is formed in the niche cavity under the gas flow jets. This flow influences the mixing process in the niche cavity as follows: with an increase of the gas outflow velocity, the mixture formation processes in the flame stabilization zone are self-similar. In this manner, the average level of gas concentration in the niche volume is almost unchanged with changing operational modes of object. The research conclusion indicates that a single-row supply is capable of providing the necessary combustible level of concentrations of the fuel mixture and a stable controlled aerodynamic structure of the flow in the field of stabilization of the combustion process in a wide range of studies.

Key words: *jet niche system, nitrogen oxides, mathematical modeling, concentration, methane.*

УДК 629.7.036

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/10>**Халатов А.А.**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Доник Т.В.

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Ступак О.С.

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЦИКЛУ БРАЙТОНА З УТИЛІЗАЦІЄЮ ВИКИДНОЇ ТЕПЛОТИ ПО М-ЦИКЛУ

Газотурбобудування є однією з пріоритетних галузей промисловості України. Головним напрямом підвищення економічності газових турбін є зростання температури на вході, що обмежується жароміцністю металів. Тому необхідні принципово нові газотурбінні технології з відносно невисокою температурою потоку та високим ККД. Одним із таких напрямів є використання регенерації викидної теплоти по циклу Майсоценка в прямому та зворотному циклі Брайтона. Такий цикл використовує енергію навколишнього середовища і дозволяє використовувати більшу просту камеру згоряння атмосферного типу. Подальшим розвитком цього циклу є підігрів повітря перед турбіною за рахунок сонячного нагрівача.

Метою роботи є термодинамічний аналіз зворотного циклу Брайтона з регенерацією теплоти за циклом Майсоценка та підігрівом повітря перед турбіною сонячною енергією.

Авторами досліджено вплив різних факторів на ефективність циклу. Розрахунки показали, що збільшення температури повітря на виході із сонячного нагрівача і температури пароповітряної суміші перед турбіною призводить до зростання ККД. Збільшення температури повітря за сонячним нагрівачем призводить і до зростання ступеня регенерації циклу, а підвищення температури пароповітряної суміші перед турбіною призводить до спадання теплової потужності апарату М-циклу.

Зі збільшенням відносної вологості атмосферного повітря збільшуються споживчі витрати повітря газотурбінною установкою, з підвищенням температури повітря за сонячним нагрівачем споживчі витрати зменшуються. Збільшення температури навколишнього середовища призводить до падіння ККД ГТУ. Зі збільшенням відносної вологості атмосферного повітря значення ККД зменшується. Це обумовлено зменшенням ролі регенерації в апараті Майсоценка.

Ключові слова: газотурбінна установка, зворотній цикл Брайтона, цикл Майсоценка, сонячний нагрівач.

Постановка проблеми. Газотурбобудування є однією з пріоритетних галузей промисловості України. В останні роки проектування традиційних газових турбін досягло високого ступеня досконалості за рахунок прогресу в області обчислювальної математики, теплофізики, матеріалознавства та комп'ютерних технологій. Сьогодні газові турбіни простого циклу мають ККД 40%, а потужні комбіновані установки парогазового циклу – ККД на рівні 60% і вище. Для підвищення термодинамічної ефективності циклу було запропоновано зворотній цикл Брайтона, в якому термодинамічні процеси протікають у зворотному напрямі – спочатку відбувається розширення робочого тіла в турбіні нагрітого при атмосферному тиску робочого тіла до тиску нижче атмосферного, потім відбувається охолодження

робочого тіла в теплообміннику для підтримки необхідного перепаду тиску на турбіні, далі – стиснення робочого тіла в компресорі до тиску, наближеного до атмосферного. Використанні в такому циклі багатоступінчатого охолодження та стиснення робочого тіла дозволяють істотно підвищити термодинамічну ефективність із більш повним використанням хімічної енергії палива [1, с. 258; 2; 3].

Головним напрямом підвищення економічності сучасних газових турбін є зростання температури на вході, що досить складно у зв'язку з обмеженнями по жароміцності металів. Тому необхідні принципово нові газотурбінні технології з відносно невисокою температурою потоку та високою теплофізичною ефективністю. Одним із таких напрямів є використання регенерації

за циклом Майсоценка [4, с. 10; 5, с. 1] у прямому та зворотному циклі Брайтона, за рахунок чого високий ККД турбіни досягається за відносно невисокої температури парогазової суміші на вході.

Такий цикл використовує енергію навколишнього середовища у формі психрометричної різниці температур (цикл Майсоценка), більш просту камеру згоряння атмосферного типу і більш дешеві матеріали в конструкції камери згоряння. Подальшим розвитком цього циклу є використання сонячної енергії для підігріву повітря перед турбіною. Вперше такий термодинамічний цикл був проаналізований у роботі [6, с. 75] (рис. 1).

Метою роботи є подальше дослідження параметрів термодинамічного циклу та оцінка ефективності впливу сонячного нагрівача повітря на параметри циклу.

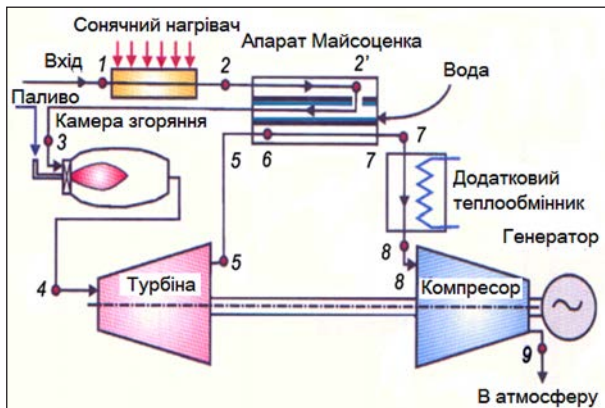


Рис. 1. Схема ГТУ на основі зворотного циклу Брайтона із тепломасообмінним апаратом Майсоценка та сонячним нагрівачем [6, с. 73]

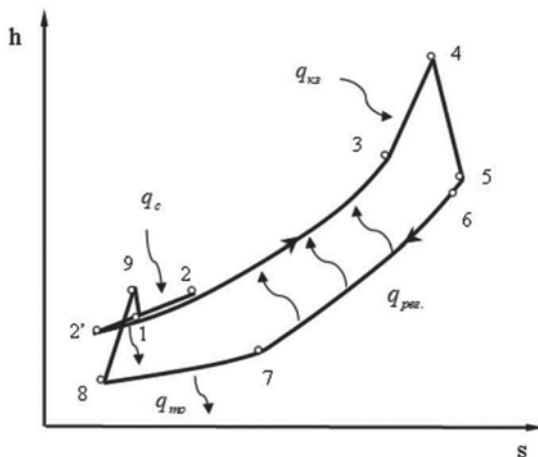


Рис. 2. $h-s$ діаграма зворотного циклу Брайтона із тепломасообмінним апаратом Майсоценка та сонячним нагрівачем [6, с. 74]

Схема газотурбінної установки. Термодинамічний цикл в $h-s$ діаграмі наведений на рис. 2. Установка працює так: повітря із атмосфери

нагрівається у сонячному нагрівачі (процес 1–2 із підводом теплоти q_c), далі охолоджується в сухих каналах апарату Майсоценка (процес 2–2' із відведенням теплоти $q_{2-2'}$), а потім збільшує вологість та ентальпію насиченого повітря у вологих каналах апарату Майсоценка (процес 2'–3, підвід теплоти $q_{2'-3}$).

Після апарату Майсоценка високоентальпійна пароповітряна суміш надходить до камери згоряння (процес 3–4, підвід теплоти $q_{кз}$), після чого вона подається на турбіну, розширюючись і виконуючи при цьому роботу (процес 4–5). Розширене у турбіні робоче тіло, яке ще володіє значним невикористаним енергетичним потенціалом, потрапляє у канали конденсації апарату Майсоценка, охолоджується до насиченого стану (процес 5–6, відведення теплоти q_{5-6}), продовжуючи рух у каналах конденсації апарату Майсоценка, зазнає подальшого охолодження до повної конденсації вологи (процес 6–7, відведення теплоти $q_{рег}$). Повітряна суміш після виходу із апарату потрапляє у низькотемпературний теплообмінник, де здійснюється додаткове відведення теплоти $q_{то}$ (процес 7–8). Після низькотемпературного теплообмінника сухе повітря потрапляє у компресор, стискаючись до тиску, близького до атмосферного (процес 8–9), проходить через регенератор і повертається на початок циклу.

У розглянутому циклі використовуються два робочих тіла: насичена високоентальпійна пароповітряна суміш у турбіні і сухе холодне повітря у компресорі, яке істотно зменшує витрати енергії на його роботу. За рахунок значного зростання ентальпії потоку, що відбувається за використання енергії довкілля (психрометричної різниці температур) і високого ступеня регенерації в М-циклі, термічний ККД ГТУ досягає 75% і більше [4, с. 10; 5, с. 2].

Особливістю апарату Майсоценка є те, що при зниженні тиску нижче атмосферного за рахунок конденсації пари води в каналах апарату М-циклу і одночасному зменшенні температури потоку волога із пароповітряної суміші може випадати у формі рідини і твердої фази. Таким чином конденсована волога може «блокувати» поверхню конденсації апарату М-циклу. Для відловлювання дрібних часток твердої фази і отримання із них рідкої фракції, яка далі буде використовуватися у вологих каналах апарату М-циклу, між низькотемпературним теплообмінником і компресором встановлюється уловлювач, який не показаний на рис. 1. Наявність твердої фази в низькотемпературному теплообміннику ефективно використовується

для інтенсифікації теплообміну. Інша особливість М-циклу полягає в тому, що теплота, яка виділяється в каналах конденсації, витрачається на фазовий перехід – нагрів і випаровування води у вологих каналах апарату М-циклу.

Основні параметри циклу розраховувалися за такими залежностями:

– величина питомої теплоти, яка підводиться до робочого газу у циклі, знаходиться за рівнянням: $q_1 = q_c + q_{2-3} + q_{кз}$;

– величина питомої теплоти, яка відводиться від робочого газу у циклі, знаходиться за рівнянням: $q_2 = q_{2-2'} + q_{5-6} + q_{рег} + q_{то}$;

– питома теплота регенерації циклу за умови ідеального теплообміну буде визначатися як різниця ентальпій робочого тіла в апараті Майсоценка: $q_{2-3} = h_3 - h_2$;

– значення термічного ККД циклу ГТУ з урахуванням регенерації теплоти: $\eta_{тп} = (q_1 - q_2) / (q_1 - q_c) = l_{ц} / (q_1 - q_{2-3})$, де $l_{ц}$ – питома робота циклу;

– значення термічного ККД циклу ГТУ: $\eta_t = (l_t - l_k) / l_t$;

– значення електричного ККД циклу ГТУ: $\eta_{ел} = (l_t - l_k) / (q_1 - q_{2-3})$;

– ступінь регенерації циклу ГТУ: $\sigma = q_{2-3} / q_2$;

– необхідні витрати повітря на вході у сонячний нагрівач із вологовмістом d_1 для забезпечення заданої величини електричної потужності газотурбінної установки $N_{ел}$, Вт: $G = N_{ел} / l_{ц}$;

– потужність сонячного нагрівача: $Q_c = G \cdot (h_2 - h_1)$;

– потужність апарату Майсоценка: $Q_{2-3} = G \cdot (h_3 - h_2)$;

– потужність камери згоряння: $Q_{3-4} = G \cdot (h_4 - h_3)$;

– потужність низькотемпературного теплообмінника: $Q_{то} = G \cdot (h_8 - h_7)$;

– масові витрати води в апараті Майсоценка, необхідні для забезпечення заданої потужності ГТУ: $G_w = G \cdot d_4$.

Спочатку була створена математична модель зворотного циклу ГТУ, що включає послідовний розрахунок його параметрів. Алгоритм розрахунку зворотного циклу Брайтона з утилізацією викидної теплоти по циклу Майсоценка реалізовано у вигляді комп'ютерної програми.

Вихідні дані. Вихідними даними, які використовуються при розрахунку параметрів ГТУ із тепломасообмінним апаратом Майсоценка, є газова постійна сухого повітря: 287 Дж/(кг·К); газова стала повітря на виході із камери згоряння: 289 Дж/(кг·К); газова стала водяного пару: 461,5 Дж/(кг·К); питома ізобарна теплоємність водяного пару: 1875,69 Дж/(кг·К); питома теплота випаровування водяного пару: 12501 Дж/(кг·К);

атмосферний тиск: 101,325 кПа; температура повітря на вході у сонячний нагрівач: 20°C (варіюється); відносна вологість атмосферного повітря: 20% (варіюється); вологовміст атмосферного повітря визначається за психрометричною діаграмою (варіюється); температура повітря на виході із сонячного нагрівача: 40–90°C (варіюється).

Розрахунки проводяться для 1 кг робочого повітря. Вони не враховують гідравлічні втрати на усіх функціональних елементах установки. Вважається, що ККД компресора та турбіни дорівнюють одиниці (адіабатичний підхід). Температура повітря на вході у сонячний нагрівач T_1 становить 20°C, а на виході із нього – T_2 . Температура пароповітряної суміші перед турбіною T_4 варіюється у діапазоні 140°C–340°C.

Результати розрахунку. На рис. 3, 4 наведено $P - v$ та $T - \Delta s$ діаграми термодинамічного циклу ГТУ для температури повітря на виході із сонячного нагрівача 50°C і температури пароповітряної суміші перед турбіною 180°C. Як показують розрахунки, теплота, отримана робочим тілом у вологих каналах апарату М-циклу, менша, ніж теплота, яка відведена в навколишнє середовище у процесах 5–8 ($q_{5-6-7-8} > q_{2-3}$). Отже, на виході з вологих каналів апарату для охолодження повітря до мінімальної температури циклу потрібен додатковий низькотемпературний теплообмінник, лінія 7–8 для відведення надлишкової теплоти $q_{7-8} = q_{5-6-7-8} - q_{2-3}$. На рис. 5, 6, 7 її наведено з урахуванням енергоефективних показників ГТУ: залежність термічного ККД $\eta_{тп}$ з урахуванням регенерації теплоти, термічного ККД η_t та електричного ККД $\eta_{ел}$ від температури повітря на виході із сонячного нагрівача T_2 та температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4 .

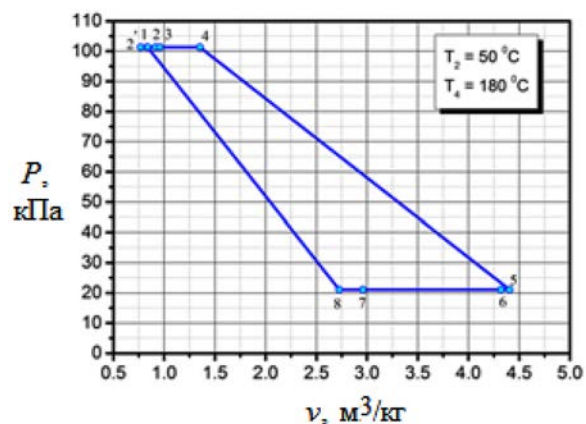


Рис. 3. $P - v$ діаграма ГТУ зворотного циклу Брайтона із тепломасообмінним апаратом Майсоценка та сонячним нагрівачем

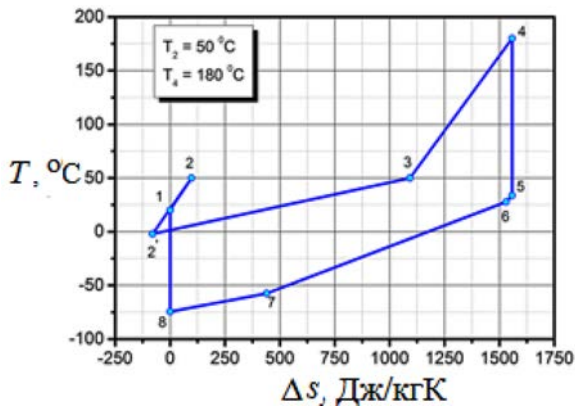


Рис. 4. $T-\Delta s$ діаграма ГТУ зворотного циклу Брайтона із тепломасообмінним апаратом Майсоценка та сонячним нагрівачем

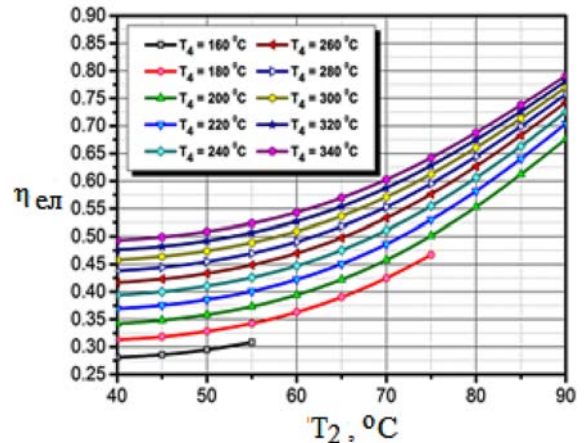


Рис. 7. Залежність електричного ККД ГТУ $\eta_{ел}$ від температури повітря на виході із сонячного нагрівача T_2 та температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4

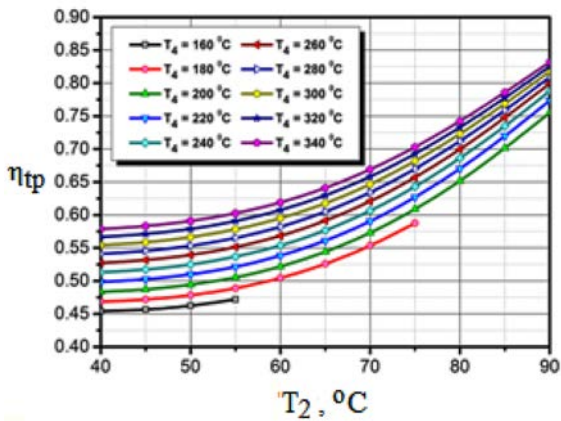


Рис. 5. Залежність термічного ККД ГТУ $\eta_{тр}$ з урахуванням регенерації теплоти від температури повітря на виході із сонячного нагрівача T_2 та температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4

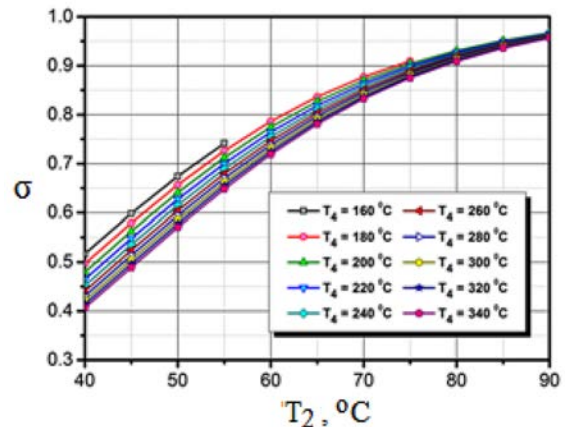


Рис. 8. Ступінь регенерації теплоти в апараті Майсоценка від температури повітря за сонячним нагрівачем і температури T_4 пароповітряної суміші перед турбіною

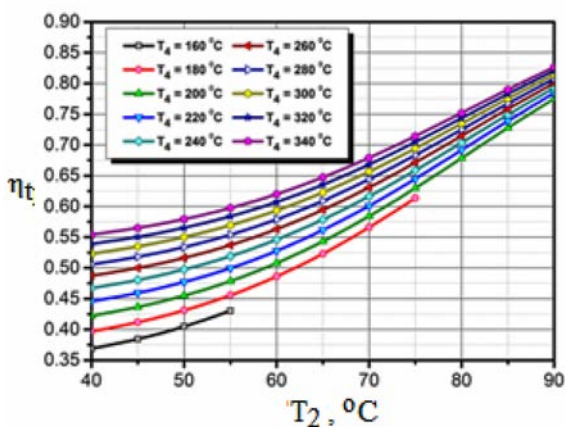


Рис. 6. Залежність термічного ККД ГТУ η_t від температури повітря на виході із сонячного нагрівача T_2 та температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4

Збільшення як температури повітря на виході із сонячного нагрівача, так і температури пароповітряної суміші перед турбіною призводить до зростання відповідних значень ККД. Наприклад, для термічного ККД $\eta_{тр}$, який враховує регенерацію теплоти у циклі, зміна температури T_4 у діапазоні від 160°C до 340°C призводить до зростання $\eta_{тр}$ від 45% до 58%, фіксуючи температуру за сонячним нагрівачем рівною 40°C.

Розглядаючи такий діапазон температур робочого тіла перед турбіною T_4 : 200°C–340°C, але фіксуючи вже більшу температуру повітря за сонячним нагрівачем, яка дорівнює 90°C, бачимо, що $\eta_{тр}$ зростає із 75% до 83%, η_t – із 77% до 82,5%, а $\eta_{ел}$ – із 67,5% до 79%. Важливою особливістю цього циклу є можливість досягнення

високих техніко-економічних показників при досить низьких значеннях температур робочого тіла перед турбіною: 160°C–340°C.

На рис. 8 наведено залежність ступеня регенерації теплоти в апараті Майсоценка σ від температури повітря за сонячним нагрівачем T_2 і температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4 . Для усіх фіксованих значень температури робочого тіла перед турбіною збільшення температури повітря за сонячним нагрівачем призводить до різкого зростання міри регенерації циклу. Це обумовлено конструктивними особливостями апарату Майсоценка, теплова потужність якого визначається за абсолютною температурою T_2 .

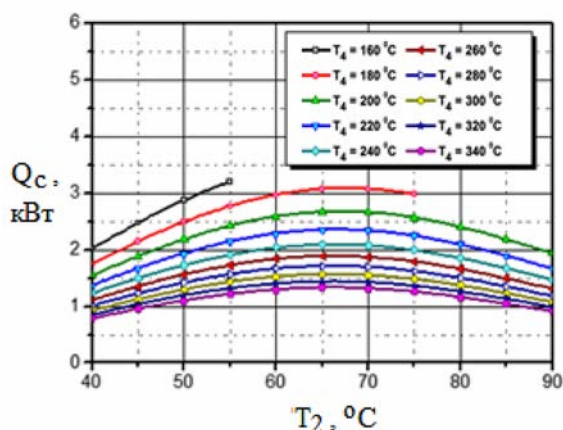


Рис. 9. Залежність теплової потужності сонячного нагрівача від температури повітря за сонячним нагрівачем T_2 та температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4

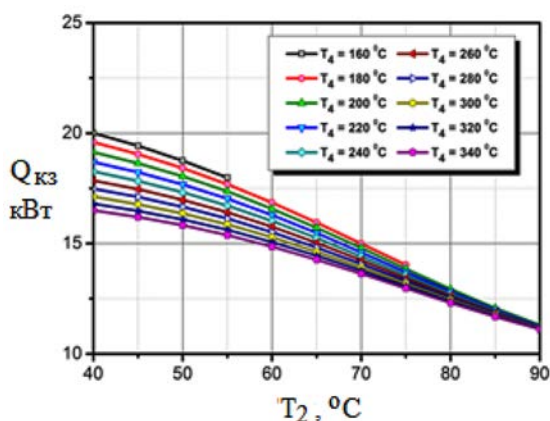


Рис. 10. Залежність теплової потужності камери згорання від температури повітря за сонячним нагрівачем T_2 і температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4

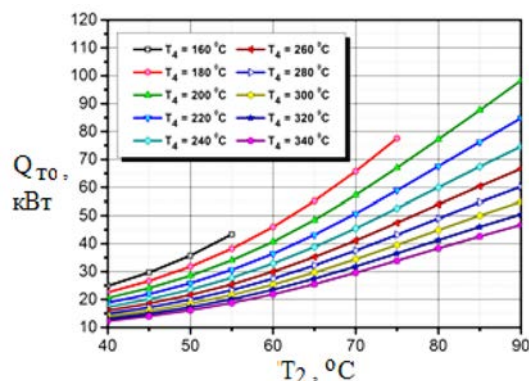


Рис. 11. Залежність теплової потужності додаткового теплообмінника від температури повітря за сонячним нагрівачем T_2 і температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4

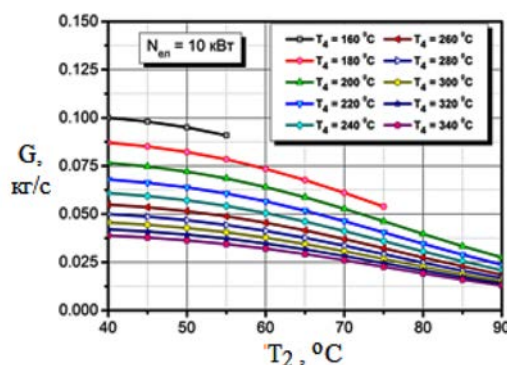


Рис. 12. Залежність масових витрат повітря G від температури повітря за сонячним нагрівачем T_2 і температури пароповітряної суміші перед турбіною T_4

Ще один випадок: фіксуємо значення температури за сонячним нагрівачем T_2 і починаємо збільшувати температуру робочого тіла перед турбіною T_4 (залежність показано на рис. 8). У цьому випадку наявне незначне зменшення міри регенерації циклу. Висока міра регенерації теплоти у циклі – 90% і більше, яка досягається при температурі повітря за сонячним нагрівачем 80°C, сприяє збільшенню термічного ККД $\eta_{тр}$ від 65% до 74%, розглядаючи зміну температури робочого тіла перед турбіною від 200°C до 340°C.

На рис. 9 показано збільшення теплової потужності апарату М-циклу за рахунок зростання температури повітря на виході із сонячного нагрівача. Розглядаючи вплив температури пароповітряної суміші перед турбіною, бачимо, що її зростання призводить до зворотного ефекту – теплова потужність апарату М-циклу знижується. На рис. 10 наведена залежність теплової потужності камери згорання від температури повітря на виході із сонячного нагрівача та температури пароповітряної суміші перед турбіною. При цьому

необхідні теплові потужності сонячного нагрівача, камери згоряння, додаткового теплообмінника визначаються для електричної потужності ГТУ потужністю 10 кВт із метою визначення впливу температури повітря за сонячним нагрівачем і температури робочого тіла перед турбіною на теплові потужності зазначених вище конструктивних елементів ГТУ.

На рис. 9 показано, що теплова потужність сонячного нагрівача поступово зростає як при збільшенні температури повітря за сонячним нагрівачем, так і при збільшенні температури пароповітряної суміші перед турбіною. Максимум цієї функції досягається при температурі повітря за сонячним нагрівачем $T_2 = 65^\circ\text{C}$. Подальше збільшення температури T_2 призводить лише до зниження теплової потужності сонячного нагрівача для усіх значень температури пароповітряної суміші перед турбіною. Чим вищою є температура пароповітряної суміші перед турбіною T_4 , тим меншою є необхідна теплова потужність сонячного нагрівача для випаровування води в апараті Майсоценка.

Результати розрахунків для випадку, коли температура повітря за сонячним нагрівачем досягає 80°C , а температура робочого тіла перед турбіною – 200°C , показали, що теплова потужність сонячного нагрівача апарату М-циклу, камери згоряння і додаткового теплообмінника складають відповідно 2,5; 71,0; 12,7; 7,0 кВт. Для цього випадку міра регенерації М-циклу складає 0,95; термічний ККД $\eta_{\text{т}}$ циклу – 65%, а електричний ККД – 55%. Подальше зростання температури робочого тіла перед турбіною до 300°C призводить до збільшення термічного ККД циклу $\eta_{\text{т}}$ до 72,5%, а електричного – до 66%. Таке збільшення енергоефективності ГТУ відбувається за рахунок збільшення міри розширення робочого тіла до 9,3. Внаслідок цього теплова потужність сонячного нагрівача зменшується до 1,4 кВт, апарату М-циклу – до 40 кВт, додаткового теплообмінника (рис. 11) – до 45 кВт. Теплова потужність камери згоряння при цьому практично не змінюється і складає 12 кВт (рис. 10).

На рис. 12 представлена залежність споживчих витрат повітря від температури за сонячним нагрівачем T_2 і температури робочого газу перед тур-

біною T_4 . Із цієї залежності можна побачити, що споживчі масові витрати повітря зменшуються і зі зростанням температур T_2 і T_4 . Це забезпечується за рахунок збільшення ККД циклу газотурбінної установки. Таким чином газотурбінна установка зворотного циклу Брайтона з утилізацією викидної теплоти по М-циклу та сонячним нагрівачем повітря перед турбіною може застосовуватися для ефективного вироблення електроенергії. Важливою перевагою цієї схеми є можливість використання камери згоряння атмосферного типу, що значно знижує рівень окислів азоту при спалюванні палива в повітрі високої вологості та спрощує її вартість та експлуатацію.

Висновки. Розрахунки термодинамічного циклу газотурбінної установки, яка працює по зворотному циклу Брайтона з утилізацією теплоти по М-циклу та сонячним нагрівачем повітря перед турбіною, показали, що збільшення температури повітря на виході із сонячного нагрівача і температури пароповітряної суміші перед турбіною призводить до зростання ККД із 45% до 58%.

Для фіксованих значень температури робочого тіла перед турбіною збільшення температури повітря за сонячним нагрівачем призводить до зростання ступеня регенерації циклу, що обумовлено конструктивними особливостями апарату Майсоценка. Зростання температури пароповітряної суміші перед турбіною призводить до спадання теплової потужності апарату М-циклу. Зі збільшенням відносної вологості атмосферного повітря значення ККД зменшується. Для температури повітря за сонячним нагрівачем 80°C при збільшенні відносної вологості від 20% до 100% ККД зменшується від 74% до 69%. Це зменшення обумовлено зменшенням ступеня регенерації теплової енергії в апараті Майсоценка.

Збільшення відносної вологості атмосферного повітря призводить до збільшення споживчих витрат повітря газотурбінною установкою, зі збільшенням температури повітря за сонячним нагрівачем споживчі витрати зменшуються. Збільшення температури навколишнього середовища призводить до падіння ККД ГТУ.

Подальша робота буде присвячена дослідженню впливу ефективності окремих елементів установки на показники ефективності циклу.

Список літератури:

1. Tsujikawa Y. et al. Proposal of atmospheric pressure turbine (APT) and high temperature fuel cell hybrid systems // JSME Intern. J. Ser. B. 2004. 47, № 2. P. 256–260.
2. Vermes G., Beer J. Ambient pressure gas turbine, U.S. Patent 6. 298, 654 BI, Oct. 9, 2001.
3. Maisotsenko V. et al. Evaporative duplex counter-heat exchanger, U.S. Patent № 6. 948, 558, B2, September 27, 2005.

4. Gillan L., Maisotsenko V., Maisotsenko open cycle used for gas turbine power generation / ASME/ IGTI Turbo Expo 2003. Atlanta, Georgia, June 16–19, 2003. P. 10.
5. Wickler K., Life below the wet bulb: The Maisotsenko cycle. Power, November-December 2003. P. 1–3.
6. Халатов А.А., Северин С.Д., Бродецкий П.И., Майсоценко В.С. Субатмосферный обратный цикл Брайтона с регенерацией выходной теплоты по циклу Майсоценко // Доповіді Національної академії наук України. 2015. № 1. С. 72–77.

Khalatov A.A., Donyk T.V., Stupak O.S. THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE REVERSE BRAYTON CYCLE WITH DISCHARGED HEAT UTILIZATION ACCORDING TO M-CYCLE

Gas turbine engineering is the priority branch of industry of Ukraine. The main direction of gas turbine efficiency growth is increase in the inlet temperature, which however is limited by the heat resistance of metals. Therefore, new gas turbine technologies with relatively low flow temperature and high efficiency are now needed. One of such area is the reverse Brayton cycle with exit heat recovery through the Maisotsenko cycle. This cycle uses the energy of environment and allows employing simpler combustion chamber of the atmospheric type. A further development of this cycle is the air heating in front of the turbine through application of solar heater. Therefore, the purpose of this work is detailed thermodynamic analysis of the reverse Brayton cycle with heat recovery through Maisotsenko cycle and air pre-heating in front of the turbine by solar energy. The influence of various factors on the total cycle efficiency was investigated, as well.

Calculations have shown the increase in the air temperature at the solar heater exit and air-steam mix temperature in front of gas turbine leads to increase in turbine efficiency. Increasing in the air temperature behind the solar heater leads to increase in reduction in cycle regeneration rate, while increase in the air-steam mix temperature in front of turbine leads to decrease in the power of the M-cycle equipment. With increase in the relative air humidity the air consumption coming through gas turbine increases, while increase in the air temperature behind the solar heater leads to decrease in the air consumption.

Increase in the ambient air temperature provides decrease in the gas turbine efficiency. Increase in the relative air humidity increases the air mass flow rate through gas turbine, while with increase in the air temperature after solar heater the air consumption drops down. Also, with increase in the relative air humidity the gas turbine efficiency decreases, nevertheless this decrease is due to reduction in the regeneration ratio of the Maisotsenko equipment.

Key words: gas turbine, reverse Brayton cycle, Maisotsenko cycle, solar heater.

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 658.562.64:622.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/11>

Азарян В.А.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДОПОТОКІВ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Ефективне управління якістю рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів є актуальною науково-практичною проблемою, від вирішення якої залежить конкурентоздатність галузі та наповнювання державного бюджету.

Сировинна якість продукції гірничо-збагачувальних комбінатів є головним чинником, що впливає на структуру витрат і формування відпускної ціни, та безпосередньо залежить від характеристик загального рудного вантажопотоку, що надходить на збагачення.

У статті проаналізовано наявні критерії, що використовуються для оцінки контролю й ефективності управління якістю рудних вантажопотоків різного ступеня інтеграції, і на його основі способом аналітичних перетворень обґрунтовано новий комплексний критерій оцінки ефективності технології управління якістю загальних інтегрованих рудопотоків ГЗК F_1 .

Запропонований критерій пов'язує якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід із неї концентрату та собівартість переробки і може бути використаний для комплексної оцінки результатів роботи технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, а також для обґрунтування зниження витрат комбінату шляхом формування фінального рудного вантажопотоку, що фактично є вхідною рудою рудозбагачувального комплексу, з відповідними значеннями вмісту корисного компонента.

Зроблено висновок, що одним із дієвих способів збільшення прибутку залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів є формування фінального рудопотоку ГЗК з такими значеннями вмісту корисного компонента, які мінімізують показник комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків.

Ключові слова: рудний вантажопотік, гірничо-збагачувальний комбінат, рудозбагачувальна фабрика, управління якістю рудопотоку, вміст корисного компонента.

Постановка проблеми. Ефективне управління якістю рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів (далі – ГЗК) є досить актуальною науково-практичною проблемою, від вирішення якої залежить конкурентоздатність галузі та наповнювання державного бюджету.

Сировинна якість продукції гірничо-збагачувальних комбінатів є головним чинником, що впливає на структуру витрат і формування відпускної ціни, та безпосередньо залежить від характеристик загального рудного вантажопотоку, що надходить на збагачення [1].

Відомо, що забезпечення оптимальних режимів роботи рудозбагачувальних фабрик (далі – РЗФ) досягається тільки за жорстко обумовлених значень вмісту корисного компонента (далі – в.к.к.) у вхідній руді, яка, по суті, є фінальним інтегрованим рудопотоком ГЗК, що дає змогу виробляти концентрат належної якості, мінімізувати втрати корисного компонента та отримати значний енергозберігаючий ефект. Отже, забезпечення відповідного рівня сировинної якості фінального інтегрованого рудного вантажопотоку ГЗК впливає на основні техніко-економічні показники комбінату [2].

Вирішення проблеми ефективного управління сировинною якістю рудних вантажопотоків для забезпечення формування загального рудопотоку ГЗК, що надходить на збагачення, із заданим в.к.к., вимагає не тільки виконання комплексу заходів з урахуванням динаміки коливань, обумовленої просторовою нерівномірністю розподілу в.к.к. по кар'єрному полю, різними показниками збагачуваності руд, неритмічністю роботи устаткування, аварійними збоями, амплітудно-частотною пульсацією

Вирішення проблеми ефективного управління сировинною якістю рудних вантажопотоків для забезпечення формування загального рудопотоку ГЗК, що надходить на збагачення, із заданим в.к.к., вимагає не тільки виконання комплексу заходів з урахуванням динаміки коливань, обумовленої просторовою нерівномірністю розподілу в.к.к. по кар'єрному полю, різними показниками збагачуваності руд, неритмічністю роботи устаткування, аварійними збоями, амплітудно-частотною пульсацією

трактів ЦПТ, але й вимагає розроблення та теоретичного обґрунтування комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків в умовах залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Методи оцінки ефективності управління якістю рудопотоків повинні насамперед відображати можливість досягнення кінцевої мети, тобто формування рудного вантажопотоку із заданими якісними характеристиками.

В Інституті гірничої справи імені Д.А. Кунаєва (Казахстан) разом зі співробітниками АТ «Костанайські мінерали» було розроблено методіку оперативного моніторингу та управління рудопотоком і реалізовано її в межах автоматизованої інформаційної системи «Рудопотік». Для оцінки точності оперативного контролю й ефективності управління якістю рудопотоків було запропоновано використовувати такі коефіцієнти:

- ефективності організації рудопотоку (КЕОР);
- ефективності планування рудопотоку (КЕПР);
- ефективності рудопідготовки (КЕР);
- відповідності рудопотоку (КВР) [3].

Згідно із запропонованою методикою коефіцієнт ефективності організації рудопотоку розраховується за формулою:

$$k_{op.} = \alpha^{\phi}_{в.к.к.} / \alpha^n_{в.к.к.}, \quad (1)$$

де $\alpha^{\phi}_{в.к.к.}$ – фактичний вміст корисного компонента рудопотоку;

$\alpha^n_{в.к.к.}$ – плановий вміст корисного компонента в рудопотоку.

Відношення фактичного показника в.к.к. до планового значення рудопотоку демонструє, наскільки ефективно виконано його формування. При тому слід зазначити, що чим ближчим буде значення цього коефіцієнта до одиниці, тим ефективнішим вважається формування рудопотоку, і тим більшою є відповідність фактичних показників в.к.к. до розрахункових значень.

Під час формування рудного вантажопотоку за допомогою усереднювального рудного складу для оцінки ефективності процесу запропоновано використовувати коефіцієнт ефективності планування рудопотоку, який обчислюється за формулою:

$$k_{e.n.p.} = \alpha^{\phi}_c / \alpha^n_c, \quad (2)$$

де α^{ϕ}_c – фактичний вміст корисного компонента в руді на складі;

α^n_c – плановий вміст корисного компонента в руді на складі.

Математична суть цього коефіцієнта, як і попереднього, полягає в прямуванні його значення до одиниці за ефективного виконання планування рудопотоку.

Для оцінки ефективності технологічного процесу, пов'язаного з рудопідготовкою, запропоновано застосування коефіцієнта ефективності рудопідготовки, розрахунок якого проводиться за формулою:

$$k_{ep} = \alpha^{\phi}_{зф.} / \alpha^n_{зф.}, \quad (3)$$

де $\alpha^{\phi}_{зф.}$ – фактичний вміст корисного компонента у руді на вході РЗФ;

$\alpha^n_{зф.}$ – плановий вміст корисного компонента у руді входу на збагачувальній фабриці.

Коефіцієнт відповідності рудопотоку порівнює фактичні значення в.к.к. рудопотоку кар'єру з плановими показниками сировинної якості руди на вході рудозбагачувальної фабрики і розраховується за формулою:

$$k_{e.p.} = \alpha^{\phi}_{в.к.к.} / \alpha^n_{pзф.}, \quad (4)$$

де $\alpha^{\phi}_{в.к.к.}$ – фактичний вміст корисного компонента в рудопотоці;

$\alpha^n_{pзф.}$ – плановий вміст корисного компонента на збагачувальній фабриці [3].

Для оцінки ефективності управління якістю в умовах гірничовидобувних підприємств також використовувалася методика професора В.Ф. Бизова, яка ґрунтується на зворотній пропорційності між результатами управління якістю та збитками комбінату від нестабільності в.к.к. у збагачувальному комплексі: за критерієм F ефективність організації управління якістю є максимальною за мінімізації збитку підприємства від коливань якості корисної копалини [4].

Критерій F безпосередньо залежить від величини кількісних та якісних втрат руди під час видобутку, при цьому враховується різниця між розрахунковим і фактичним показниками виходу концентрату:

$$F = (C_1 + C_2 + C_3) \times Q_n + (\gamma_p - \gamma_{факт}) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min, \quad (5)$$

де C_1, C_2, C_3 – приведені собівартості видобутку, транспортування та переробки на 1 т руди, грн/т;

Q_n – втрати руди внаслідок коливань якості, т;

$\gamma_p, \gamma_{факт}$ – розрахунковий і фактичний показники виходу концентрату;

Q_p – фактичний обсяг руди, що надходить на РЗФ, т;

C_4 – собівартість збагачення, грн/т.

При цьому різниця між значеннями γ_p та $\gamma_{факт}$ зумовлюється саме амплітудою коливань сировинної якості рудопотоку.

Аналіз вищенаведених коефіцієнтів дає змогу зробити висновок, що деякі з них надають оцінку лише окремому етапу формування локальних рудних вантажопотоків, не оцінюючи ефективність формування інтегрованого загального рудопотоку ГЗК з урахуванням технологічних та економічних факторів.

Тому, задля забезпечення достовірної оцінки ефективності управління якістю фінального рудного вантажопотоку, який фактично є вхідною рудою рудозбагачувального комплексу, було обґрунтовано необхідність створення комплексного критерію оцінки ефективності управління інтегрованим загальним рудопотоком, який отримав назву « F_1 ».

Постановка завдання. Метою статті є обґрунтувати способом аналітичних перетворень новий комплексний критерій оцінки ефективності технології управління якістю загальних інтегрованих рудопотоків ГЗК F_1 , який зможе пов'язати якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід із неї концентрату та собівартість переробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відомою є формула, що пов'язує вихід концентрату з якісними характеристиками рудного вантажопотоку: вихід концентрату рудозбагачувального комплексу є прямо пропорційним в.к.к. в руді на вході РЗФ:

$$\gamma = \varepsilon \times \frac{\alpha}{\beta}, \quad (6)$$

де ε – витяг, частки од.;

α – вміст корисного компонента в руді на вході РЗФ;

β – вміст корисного компонента в концентраті.

Показник в.к.к. в руді на вході РЗФ α є непостійним, він коливається і є об'єктом контролю та подальшого впливу під час формування інтегрованих загальних рудопотоків ГЗК, які фактично є вхідною рудою рудозбагачувального комплексу.

Чим ефективнішим є управління якістю рудопотоків, тим меншою буде величина амплітуди коливань α у вхідній руді та, відповідно, – різниця між γ_p та $\gamma_{факт}$ [5]. Зменшення розбіжності між γ_p та $\gamma_{факт}$, у свою чергу, приведе до мінімізації собівартості шляхом оптимізації режимів збагачення.

Відомо, що якісні показники рудопотоку кар'єра впливають на процес збагачення, загальні показники витрат якого описує права частина формули (5), яку можна розглянути окремо:

$$(\gamma_p - \gamma_{ф}) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min. \quad (7)$$

З формули (7), якщо прийняти за умовно-постійні величини витяг ε і значення вмісту корисного компонента в концентраті β і позначити відповідно $\alpha_{факт}$ – фактичний вміст корисного компонента в рудопотоці та $\alpha_{план}$ – плановий вміст корисного компонента в рудопотоці на РЗФ, то тоді (7) набуде такого вигляду:

$$\left(\varepsilon \frac{\alpha_{факт.}}{\beta} - \varepsilon \frac{\alpha_{план.}}{\beta}\right) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (8)$$

або

$$(\alpha_{факт.} - \alpha_{план.}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (9)$$

При цьому з формули (9) очевидно, що чим меншою буде різниця між фактичним показником вмісту корисного компонента фінального рудопотоку і запланованим значенням у вхідній руді збагачувальної фабрики, тим ближчим до мінімального значення буде показник витрат на збагачення.

Розглянемо праву частину формули (5) та введемо позначення комплексного критерію оцінки ефективності управління фінальним рудопотоком комбінату з урахуванням вимог збагачувального комплексу – F_1

$$F_1 = (\gamma_p - \gamma_{факт}) \times Q_p \times C_4 \quad (10)$$

Із виразів (8) та (9) випливає, що

$$F_1 = (\alpha_{факт.} - \alpha_{план.}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \quad (11)$$

З урахуванням (3) та (6) формула (11) набуде такого вигляду:

$$F_1 = \alpha_{план.} \frac{\varepsilon}{\beta} (1 - k_{ep}) \times Q_p \times C_4, \quad (12)$$

або

$$F_1 = |1 - k_{ep}| \times \gamma_p \times Q_p \times C_4 \quad (13)$$

З формул (12) та (13) очевидно, що чим меншою буде різниця між фактичним показником

вмісту корисного компонента у фінальному рудопотоці та запланованим значенням у вхідній руді збагачувальної фабрики, тим ближчим до мінімального значення буде показник витрат на збагачення.

Комплексний критерій оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єра F_i пов'язує воедино показники якісних характеристик сформованого фінального рудопотоку, фактичного обсягу руди, що спрямовується на переробку, виходу концентрату та собівартості збагачення.

Надалі критерій може використовуватися для комплексної оцінки результатів роботи технології управління якістю залізвмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК і задля обґрунтування можливих шляхів зниження витрат комбінату з урахуванням того, що прибуток ГЗК визначається за відомою формулою:

$$\Pi = \sum(Q \times C \times \gamma) - \sum(Z_d + Z_n), \quad (14)$$

де Q – обсяги видобутку руди за обліковий період;

C – відпускна ціна за 1 т концентрату, ця величина коливається в часі;

γ – вихід концентрату;

$Q \gamma = Q_{\text{конц.}}$ – обсяг концентрату за обліковий період;

Z_d – загальні витрати на видобуток корисних копалин;

Z_n – витрати на переробку (збагачення) корисних копалин.

З формули (14) очевидно, що зростання прибутку ГЗК можна забезпечити саме шляхом зниження загальних витрат на збагачення. Тому формування фінального рудопотоку гірничо-збагачувального комбінату із заданим діапазонним значенням в.к.к., яке мінімізує показник комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків, є одним із дієвих способів зниження собівартості та, відповідно, підвищення прибутку залізородних ГЗК.

Висновки. 1. Під час досліджень було обґрунтовано комплексний критерій оцінки ефективності управління якістю рудопотоків в умовах залізородних ГЗК F_i , який пов'язує якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід із неї концентрату та собівартість переробки.

2. Одним із дієвих способів зниження витрат на збагачення та відповідного збільшення прибутку залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів є формування фінального рудопотоку ГЗК із заданим діапазонним значенням в.к.к., яке мінімізує показник комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків.

Список літератури:

1. Азарян А.А., Азарян В.А., Вилкул Ю.Г., Колосов В.А. Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2012. № 5. С 1–4.
2. Жуков С.А., Азарян В.А. Системные принципы и оценочный критерий генерализации управления качеством рудопотоков. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2017. № 52. С. 41–46.
3. Галиев С.Ж., Бояндинова А.А., Адилханова Ж.А., Жусупов К.К., Пуненков С.Е. Методика оперативного мониторинга и управления рудопотоком. *Научный журнал КазНТУ «Вестник»*. Наука о земле, 2009. С. 64–70.
4. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров : учеб. для вузов по спец. «Открытые горные работы». Москва, 1991. 239 с.
5. Бастан П.П. Смешивание и сортировка руд. Москва, 1990. 168 с.

Azarian V.A. RATIONALIZING THE COMPLEX CRITERION OF THE QUALITY MANAGEMENT EFFICIENCY ASSESSMENT IN THE CONDITIONS OF AN ORE MINING AND PROCESSING PLANTS

The effective management of the iron ore quality at the mining enrichment plants is a pressing scientific and practical challenge. A comprehensive solution to this challenge is imperative for the competitiveness of the industry and steady contribution to the state budget.

Raw material's quality of the mining and processing enterprises products is a major factor influencing cost structure and formation selling price, and directly depends on the characteristics of the total ore cargo destined for enrichment.

The article analyzes the existing criteria used to evaluate the control and efficiency of quality management of ore cargo flows of various degrees of integration. A new comprehensive criterion for evaluating the efficiency

of quality management of common integrated F_1 ore flows has been determined on the basis of this analysis.

The suggested criterion relates the qualitative characteristics of the formed ore stream, the actual volume of ore that is sent for enrichment, the output of the concentrate and the cost of processing. It can be used for a comprehensive evaluation of the results of the quality management technology for iron-containing raw materials for mining, as well as for the cost reduction at ore-mining plants by means of forming one final ore cargo, the latter being the input at the ore-mining complex, with the corresponding values and the grade of ore.

It is concluded that one of the most efficient ways of increasing the profits of iron ore mining and processing plants is the formation of the final flow with such a grade of ore that would minimize the complex criterion indicator used for evaluating the ore flow quality management efficiency.

Key words: *ore freight flow, mining and concentrating plant, ore dressing plant, management of the quality of ore flow, grade of ore.*

УДК 622.24.058

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/12>**Василишин В.Я.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Василишин Я.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Чорна Ю.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

УДОСКОНАЛЕНЕ МУФТОВЕ З'ЄДНАННЯ ОБСАДНИХ І НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ

Найбільш технологічними для збирання колон в умовах промислів є муфтові різьбові з'єднання. Проте розлади стандартних різьбових з'єднань спричинюють 70% усіх ускладнень з обсадними та насосно-компресорними колонами. Це призводить до значних матеріальних втрат, зниження продуктивності відбору сировини, забруднення надр і доквілля. Особливо гостро проявляється втрата герметичності цих з'єднань під час розвідки та розроблення газових і газоконденсатних родовищ. Насосно-компресорні труби (НКТ), що експлуатуються у свердловинах з обводненістю більше 60% та у глибинно-насосних свердловинах із кривизною більше 14° , не витримують встановленого терміну служби. Передчасний вихід із ладу НКТ відбувається внаслідок агресивної дії пластових вод, органічних кислот, агресивних газів, гідроерозійного впливу, механічного зносу, а також внаслідок втомного руйнування під дією змінних навантажень. Високу ефективність і найвищі технічні показники під час кріплення та експлуатації свердловин у складних гірничо-геологічних умовах і в похило-скерованих і горизонтальних свердловинах показали високогерметичні різьбові з'єднання з вузлом ущільнення типу «метал-метал», але вони мають окремі експлуатаційні вади. У похило-скерованих і горизонтальних свердловинах найбільш ефективними є ущільнення з випуклою поверхнею ніпеля, але таке спряження має меншу площу контакту, вимагає більшого радіального натягу і досягає високих контактних напружень. Швидке настання пластичних деформацій, крім корозії, призводить до відхилень форми поверхонь, зменшення натягу, порушення герметичності, погіршення умов повторного згвинчування. Тому підвищення міцності і герметичності обсадних колон на основі вдосконалення з'єднань із вбудованим вузлом ущільнення є актуальним і перспективним завданням. Тому актуальним завданням є вдосконалення різьбових з'єднань у напрямі підвищення їхньої надійності та працездатності для умов високих експлуатаційних навантажень. Для їхнього вирішення необхідно провести теоретичні і експериментальні дослідження, на основі яких можна розробити ефективні методи і засоби підвищення надійності кріплення нафтогазових свердловин.

Ключові слова: насосно-компресорна труба, напружено-деформований стан, втомна довговічність, момент затягування, руйнування, втрата герметичності, різьбові з'єднання, муфта, експлуатація свердловин, пластична деформація.

Постановка проблеми. Важливим напрямом підвищення надійності і безпеки будівництва та експлуатації свердловини є вдосконалення конструкції й технології виготовлення з'єднань обсадних труб.

Втрата працездатності обсадної колони пов'язана з втратою необхідної міцності та герметичності її муфтових різьбових з'єднань. Навіть за повної відповідності геометричних параметрів різьбових з'єднань стандартам у таких з'єднаннях виникає широке розсіювання силових параметрів взаємодії, які не витримують експлуатаційних навантажень на обсадну колону у свердловині.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Виявлено тенденцію до прихованого зниження міцності й герметичності різьбових з'єднань обсадних труб і муфт за повної відповідності їхніх геометричних параметрів до стандарту, оскільки останній не регламентує вимоги згвинчування із заданим крутним моментом. Вимога, щоб торець муфти збігався з кінцем різьби труби, є ненадійним критерієм працездатності з'єднання. Тому треба шукати нові технічні рішення для підвищення надійності та забезпечення міцності і герметичності з'єднань, підвищувати працездатність муфтових з'єднань обсадних труб конструкторсько-технологічними методами.

Важливими завданнями для забезпечення надійності з'єднань обсадних колон є такі: правильний вибір ущільнюючих мастил чи спеціальних герметиків, вибір тампонажних розчинів і процесу цементування свердловин, створення необхідного пружного натягу у різьбових з'єднаннях.

Високу ефективність і найвищі технічні показники під час кріплення та експлуатації свердловин у складних гірничо-геологічних умовах і в похило-скерованих і горизонтальних свердловинах показали високогерметичні різьбові з'єднання з вузлом ущільнення типу «метал-метал», але вони мають окремі експлуатаційні вади. Тому підвищення міцності і герметичності обсадних колон на основі вдосконалення з'єднань із вбудованим вузлом ущільнення є актуальним і перспективним завданням.

У світовій промисловій практиці високогерметичні різьбові з'єднання набули широкого застосування, наприклад, закордоном утворився окремий клас «Преміум» з'єднань труб із металічними ущільненнями.

Конструкція високогерметичних з'єднань включає конічні різьби трапецієвидного профілю, ущільнення типу «метал-метал» і упорні торці. Високоміцні різьби типу ОТТМ і поширеного у світі типу Buttress (відповідно до стандартів Американського нафтового інституту API 5CT і API 5B) витримують набагато більші осьові та згинальні навантаження, ніж трикутні різьби. Проте конструктивно ці різьби не виконують ущільнювальної функції.

Герметизація вказаних з'єднань відбувається завдяки вбудованому ущільненню. Принцип його роботи полягає в тому, що під час згвинчування різьби зовнішня ніпельна поверхня труби входить із радіальним натягом у внутрішню поверхню муфти, і на площі їхнього контакту виникають напруження стиску. Ущільнюючі поверхні можуть мати таку форму: внутрішня – конус, циліндр; зовнішня – конус або випукла поверхня (сфера, бочкоподібна). Крім ОТТГ, «конус-конус» мають ущільнення фірми Hydril (США): CTS, CTS-4, RB, FJ, Super FJ, FJ-40, EU, Tripleseal; фірми Societe Valures (Франція): VAM, VAM AF, VAM AT-AF, Nev VAM; фірми Nippon Steel (Японія): NS-CC та інші. Випуклу форму ніпеля мають ущільнення Extreme Line, Tenaris Blue, Antares MS, BDS, NK-3SB тощо. В ущільненнях KS Bear, FOX у спряження входять випукла і увігнута поверхні. В ущільненнях фірми Atlas Bredford (США) TS-4S, Jj-4S, FL-4S, Jj-3SS розміщено тефлонові кільця.

Збільшенням моменту згвинчування досягають контактних напружень на упорних плоских або у формі зворотного конуса торцях, основною функ-

цією яких є обмеження згвинчування і досягнення точного осьового позиціонування поверхонь різьби і ущільнення із заданими натягами. Проте значні осьові розтяги, на які розраховані з'єднання «Преміум», зменшують торцеву взаємодію або розкривають стик. Водночас під час завищення напружень можливий розлад торцевих ущільнень у викривлених свердловинах.

Виготовлення з'єднань з ущільненням «метал-метал» пов'язане з низкою високих технологічних умов: ускладнена конструкція, вони вимагають підвищеної точності нарізання та взаємного розміщення ущільнюючих, різьбових та упорних поверхонь. Це необхідно для їхньої одночасної узгодженої взаємодії та досягнення заданих натягів у з'єднанні, оскільки натяги у різьбі і в ущільненні суттєво впливають один на одного.

Такі з'єднання чутливі до недотримання встановлених крутних моментів, особливо до їхнього перевищення. Доцільно зауважити, що в умовах використання на промислах для згвинчування обсадних труб ключів із високими робочими зусиллями виникають пластичні деформації упорних поверхонь різьб і торців цих з'єднань, що відчутно знижує рівень їхньої міцності на розтяг. Саме у місцях пластичних деформацій насамперед проходить корозійне руйнування металу за наявності агресивних компонентів у свердловині.

У похило-скерованих і горизонтальних свердловинах найбільш ефективні ущільнення з випуклою поверхнею ніпеля, але таке спряження має меншу площу контакту, вимагає більшого радіального натягу і досягає високих контактних напружень. Швидке настання пластичних деформацій, крім корозії, призводить до відхилень форми поверхонь, зменшення натягу, порушення герметичності, погіршення умов повторного згвинчування.

Нами запропоновано пристрій для герметизації муфтових з'єднань насосно-компресорних та обсадних труб [1], які використовуються під час спорудження та експлуатації свердловин в умовах високих внутрішніх тисків. Пристрій захищений патентом на корисну модель.

Завдання, яке ставилось під час створення цієї корисної моделі, – підвищити працездатність пристрою завдяки зростанню міцності герметизуючої втулки шляхом зменшення і розподілення деформацій втулки на всю її довжину та підвищення герметичності контакту втулки з трубою завдяки збільшенню його площі і надійності зчеплення.

Поставлене завдання вирішується тим, що поверхні втулки і товщина її стінок криволінійно змінюються по її довжині, а форма торців втулки

і торців труб вибирається незалежно плоскою, конічною, опуклою або увігнутою, причому конічна форма торця відрізняється від плоскої на кут, тангенс якого не перевищує величину коефіцієнта тертя між торцями втулки і труби.

Виконання пристрою із втулкою, у якій поверхні і товщина стінки криволінійно змінюються по її довжині, утворюючи поверхні другого і четвертого порядків, забезпечує під час згвинчування з'єднання деформування кожної криволінійної ділянки і, відповідно, розподілення деформацій на всю довжину втулки. Завдяки цьому на окремих ділянках виникають менші за величиною і пружні за характером деформації, які не досягають значень залишкових пластичних деформацій. Це підвищує міцність втулки, і вона може забезпечити герметичність з'єднання за вищих внутрішніх тисків. Відсутність пластичних деформацій втулки дає змогу згвинчувати з'єднання до досягнення його необхідної міцності, а також відновлення форми і розмірів втулки після розгвинчування з'єднання та її повторного використання.

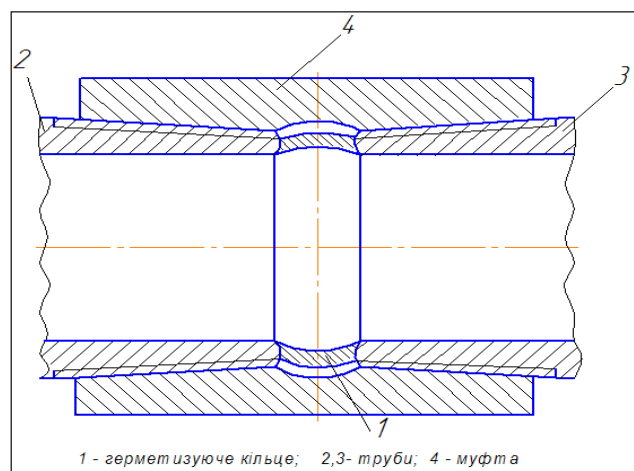
Виконання контактних торців втулки і труб плоскої, конічної, опуклої або увігнутої форми та незалежний її вибір для втулки і труб дають змогу утворювати найбільш працездатне з'єднання залежно від заданих експлуатаційних умов, розмірів з'єднання і матеріалів його деталей. Наприклад, конічна форма торців забезпечує більшу площу їхнього контакту порівняно з плоскою і, відповідно, вищу герметичність з'єднання. Поєднання опуклого і увігнутого торців теж створює більшу площу контакту і водночас у разі деформації втулки уможливує поворот її стінки щодо торця труби через проковзування. Це зменшує величину згинальних деформацій стінки втулки, що підвищує її міцність. У разі контакту конічного і плоского торців між ними спочатку утворюється кутовий зазор, який під час подальшого загвинчування з'єднання зменшується аж до повного контакту торців по всій площі шляхом згинальних деформацій і повороту стінки втулки. Це теж зменшує величину деформацій, які припадають на стінки втулки, і підвищує її міцність.

Виконання конічної форми торця такою, що відрізняється від плоскої на кут, тангенс якого не перевищує величину коефіцієнта тертя між торцями втулки і труби, забезпечує краще зчеплення торців, тому що за такого значення кута сила тертя між торцями завжди перевищує поперечну складову сили їхньої взаємодії, яка виникає внаслідок нахилу конічного торця і намагається змістити торець втулки щодо труби.

На рис. 1 зображено загальний вигляд запропонованого пристрою, встановленого у муфтовому з'єднанні труб. Варіанти виконання поверхонь герметизуючої втулки показано на рис. 2, а на рис. 3 – варіанти контакту втулки і труби з торцями різної форми.

Пристрій для герметизації муфтових з'єднань труб (див. рис. 1) складається з втулки 1, що встановлюється між торцями труб 2 і 3, які з'єднані муфтою 4. Поверхні втулки і товщина її стінок криволінійно змінюються по її довжині (див. рис. 2). Втулка може містити одну або кілька криволінійних ділянок, що чергуються по довжині, і може бути виготовлена з матеріалу, відмінного від матеріалу труб. У з'єднанні торці *A, B, C, D* герметизуючих втулок контактують із торцями труб (рис. 3). Як було сказано вище, форма торців втулки і труб може бути плоскою, конічною, опуклою або увігнутою та вибирається незалежно для втулки і для труб. Вибрана конічна форма торця відрізняється від плоскої на кут α , тангенс якого не перевищує величину коефіцієнта тертя між торцями втулки і труби (рис. 3, в).

Пристрій працює так (рис. 1.): під час згвинчування муфтового з'єднання труби 2 і 3 переміщуються назустріч одна одній і стискають втулку 1, внаслідок чого її стінки деформуються. Завдяки їхній криволінійній формі і змінній товщині ці деформації відбуваються у вигляді згину і повороту окремих ділянок стінки і розподіляються по всій довжині втулки. При цьому торці герметизуючої втулки 1 притискаються до торців труб 2 і 3, що забезпечує герметизацію з'єднання. Вибір конічної форми торців забезпечує більшу площу їхнього контакту і вищу герметичність з'єднання порівняно з плоскою формою торців. Поєднання опуклого і увігнутого торців теж має більшу площу контакту, а під час деформації втулки уможливує поворот і проковзування її стінки щодо торця труби.



1 - герметизуюче кільце; 2,3- труби; 4 - муфта

Рис. 1. Загальний вигляд пристрою для герметизації муфтових з'єднань труб

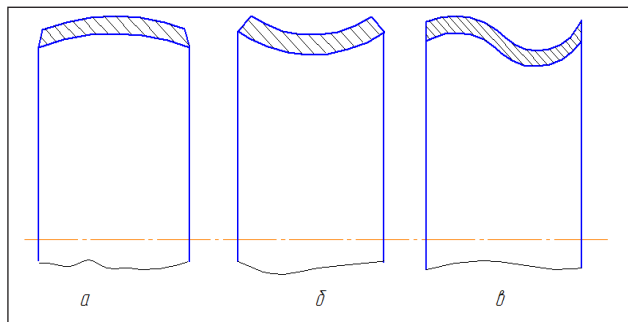


Рис. 2. Варіанти виконання поверхонь герметизуючої втулки

Кутовий зазор, який утворюється у разі контакту конічного і плоского торців, під час згинчування з'єднання зменшується аж до повного контакту торців по всій площі шляхом згину і повороту стінки втулки.

Висновки. Економічна ефективність запропонованого пристрою для герметизації муфтових з'єднань труб впливає із простоти його виготовлення та підвищення міцності втулки, герметич-

ності і надійності з'єднання під час його згинчування і під час роботи в умовах високих тисків нафтових і газових свердловин.

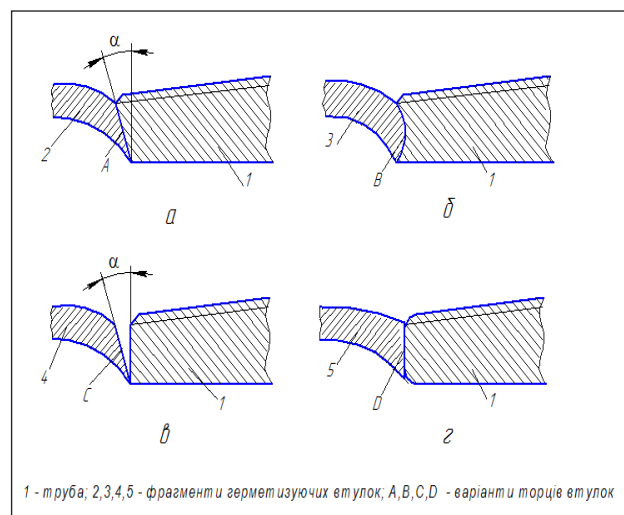


Рис. 3. Варіанти контакту втулки і труби

Список літератури:

1. Василюшин В.Я. Підвищення працездатності різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.12; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2013. 20 с.
2. Патент на корисну модель № 68732. МПК E21B 17/00 F16L 15/04. Пристрій для герметизації муфтових з'єднань труб / Крижанівський Є.І., Палійчук І.І., Василюшин В.Я. Опубліковано: 10.04.2012, Бюл. № 7.
3. Палійчук І.І., Василюшин В.Я., Щеглюк П.В., Рокецький С.П. Аналіз проблем та шляхів підвищення надійності і герметичності муфтових з'єднань обсадних колон. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. №1 (42). С. 169–176.
4. Василюшин В.Я. Вплив крутного моменту згинчування на опір втомлюваності замкових різьбових з'єднань бурових труб. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. № 4 (37.). С. 55–58.

Vasylyshyn V.Ya., Vasylyshyn Ya.V., Chorna Yu.V. IMPROVED COUPLING AND PUMP CONNECTION PIPES

The most technologically useful for assembling columns in the conditions of crafts are muffled threaded joints. However, the disorder of standard threaded connections causes 70% of all complications with casing and pump-compressor columns. This leads to significant material losses, reduced productivity of the selection of raw materials, pollution of the earth's interior and the environment. Particularly acute is the loss of tightness of these compounds in the exploration and development of gas and gas condensate fields. Pump-compressor tubes (tubes) operated in wells with a watering capacity of more than 60% and in deep-well wells with a curvature of more than 140 can not withstand the established service life. Premature failure of tuberculosis occurs due to the aggressive action of formation water, organic acids, aggressive gases, hydro-erosive effects, mechanical wear, as well as fatigue failure due to variable loads. High performance and highest technical performance in the mounting and operation of wells in difficult mining and geological conditions and in inclined and horizontal wells showed high tight threaded connections with the metal-metal seals, but they have separate operating defects. Therefore, increasing the strength and tightness of casing by improving connections with the integrated sealing assembly is a topical and promising task.

Therefore, the actual task is to improve threaded joints in order to increase their reliability and performance for conditions of high operating loads. In inclined and horizontal wells, the most effective seals with a convex nipple surface. But this coupling has a smaller contact area, requires more radial tension and reaches high contact voltages. The rapid onset of plastic deformation, in addition to corrosion, leads to deviations in the shape of the surfaces, reducing tension, breaking the tightness, deteriorating conditions of re-screwing. To solve them, it is necessary to conduct theoretical and experimental research, on the basis of which it is possible to develop effective methods and means to increase the reliability of attachment of oil and gas wells.

Key words: pump tube, stress-strain state, fatigue life, tightening torque, fracture, loss of tightness, threaded connections, coupling, well operation, plastic deformation.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 66.048.5.069.834

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/13>

Крисенко Т.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Радовенчик Я.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Глушко О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Сіренко Л.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЯКІСНІ РЕАКЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАСИЧЕННЯ ІОНІВ ПІД ЧАС ІОНООБМІННОГО ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

У роботі наведені результати оцінки відомих на сьогодні хімічних реакцій якісного аналізу вод на наявність іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} з метою використання їх для визначення моменту насичення катіонітів під час пом'якшення води. Зазначено, що сучасні іонообмінні технології управління пом'якшенням води базуються на використанні розрахункового об'єму, який здатна обробити визначена кількість катіоніту для води даних характеристик. Інші методи контролю жорсткості води або надто складні та дорогі (як із використанням аналізатора «АКМС-1»), або не дозволяють фіксувати проскок іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} (як із використанням індикаторних смужок «Водомер – жесткость»). Тому в умовах промисловості бажане використання простих у реалізації та дешевих якісних реакцій. Для якісного аналізу іонів Ca^{2+} запропоновано використовувати реакцію з родизонатом натрію. Серед інших реакцій вона виділяється надзвичайною чутливістю, не потребує попередньої обробки проби води та складних маніпуляцій у процесі аналізу і може бути реалізована обслуговуючим персоналом без спеціальної підготовки. Для якісного аналізу іонів Mg^{2+} вибрано найбільш просту серед існуючих методику з використанням магнезону. Вона досить проста, чутлива, передбачає використання лише одного реагенту і може легко проводитися в умовах виробничого процесу. Перевагою цієї методики є також той факт, що за незначних концентрацій іонів Mg^{2+} осад може не утворюватися, але проба забарвлюється в синій колір, що також дозволяє використовувати її для відкриття іонів Mg^{2+} . Зазначено, що в реальних умовах найбільш прийнятна методика вибирається в кожному конкретному випадку в залежності від характеристик води, кваліфікації персоналу, вимог до результатів аналізу, умов технологічного процесу і т.п. Наведений перелік якісних реакцій дозволяє вибрати прийнятну методику для практично будь-яких умов проведення процесу пом'якшення води. Описано особливості відомих реакцій, умови їх проведення та результати взаємодії, мінімальні концентрації іонів жорсткості, що відкриваються цими реакціями. Використання вибраних реакцій дозволяє оперативно фіксувати проскок іонів жорсткості під час іонообмінного пом'якшення води.

Ключові слова: пом'якшення води, катіоніти, якісний аналіз, іони жорсткості, хімічні реакції на іони жорсткості, родизонат натрію, магnezон.

Постановка проблеми. Останні роки характеризуються негативними змінами в гідросфері. Сьогодні якість води в поверхневих водоймах

є для багатьох промислово розвинутих регіонів України чи не найгострішою проблемою. Підвищення мінералізації поверхневих вод змушує

передбачати попередню обробку питної води з метою її пом'якшення і доведення загальної твердості до рівня 7 мг-екв/дм³ [1, с. 14]. З іншого боку, більшість енергетичних установок вимагають використання води із жорсткістю на рівні 0,03 – 0,05 мг-екв/дм³ і навіть менше [2, с. 151]. Традиційною технологією пом'якшення води є іонообмінна технологія, яка дозволяє замінити у воді іони Ca²⁺ та Mg²⁺ на іони натрію. Основним матеріалом, що забезпечує реалізацію такого обміну, є катіоніти в Na⁺-формі. Оскільки обмінна ємкість катіоніту має чітко визначену величину, то періодично виникає необхідність у відновленні його іонообмінних характеристик. Із точки зору економії та надійності забезпечення якості води важливо досить точно визначити момент насичення катіоніту іонами жорсткості. Тому в технологіях пом'якшення води залишається актуальним питання оперативного контролю за роботою іонообмінників та чітким встановленням моменту початку процесу регенерації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На потужних енергетичних підприємствах, де в структурі передбачено цех хімоводоочистки, проблем із визначенням моменту насичення катіоніту не виникає, оскільки одночасно створюється і працює такий підрозділ, як заводська лабораторія. Тут є можливість проводити кількісний аналіз на іони Ca²⁺ та Mg²⁺ комплексонометричним методом із титруванням трилоном Б у присутності індикатора [3, с. 178]. Очевидно, що такий аналіз можливо проводити лише в лабораторних умовах із використанням значної кількості реактивів для зменшення впливу на результат вимірювання різноманітних домішок. Крім цього, сам аналіз досить трудомісткий, а спектрометрична індикація кінцевої точки титрування ускладнює його ще більше. У виробничих умовах можливе використання аналізатора «АКМС-1», в основі роботи якого лежить потенціометрична методика визначення жорсткості води [4]. Разом із тим аналізатор досить складний, потребує кваліфікованого обслуговування і, відповідно, має значну вартість. Значно простіше та дешевше проводити вимірювання жорсткості води індикаторними смужками «Водомер – жорсткість», які нещодавно почали виготовляти в ТОВ «Норма» в Києві [5]. Робота смужки базується на зміні кольору індикатора еріохром чорний Т у присутності різних реагентів у залежності від жорсткості води. Найбільш значним недоліком смужок є високий мінімальний рівень жорсткості – 1,5 мг-екв/дм³. Якщо для оціночних вимірювань жорсткості води

смужки можуть бути використані, то для визначення моменту проскоку іонів Ca²⁺ та Mg²⁺ вони однозначно не підходять, оскільки діапазон жорсткості води 0 - 1,5 мг-екв/дм³ залишається для них недоступним. Тому сьгодні масово перераховані методи аналізу в процесах іонообмінного пом'якшення води не застосовуються, особливо в системах малої та середньої продуктивності.

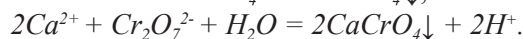
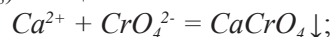
Володіючи початковими характеристиками води, що піддається пом'якшенню, досить просто розрахувати об'єм води, яка гарантовано буде оброблена до необхідних рівнів жорсткості тим чи іншим іонітом у відповідній формі. Для контролю процесу насичення іонітів при цьому найчастіше виходять із об'єму води, який можна пропустити через іонообмінний фільтр до проскоку іонів жорсткості. В якості контрольних параметрів застосовують або допустимий термін фільтрування при постійній витраті, протягом якого через фільтр проходить визначений об'єм води, або вимірюють безпосередньо визначений об'єм води [2, с. 162]. При цьому зазначений об'єм води є чисто розрахунковим і не враховує зміну характеристик води, обмінної ємкості іоніту в процесі роботи, нестабільності роботи насосного обладнання і т.п.

Мета роботи. Метою даної роботи було вивчення відомих якісних хімічних реакцій на іони Ca²⁺ та Mg²⁺, аналіз цих реакцій та вибір найбільш прийнятних для оперативного визначення моменту насичення катіонітів під час пом'якшення води та початку їх регенерації.

Виклад основного матеріалу. Зважаючи на той факт, що жорсткість води визначається переважно вмістом іонів Ca²⁺ та Mg²⁺, вивчення якісних реакцій на них також розділимо на дві частини.

Методики якісного визначення катіонів Ca²⁺.

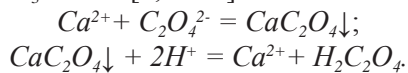
Багато підручників та посібників із аналітичної хімії приводять, як найбільш придатну для візуального контролю, реакцію іонів Ca²⁺ із хроматом K₂CrO₄ чи дихроматом калію K₂Cr₂O₇ [6, с. 71; 7, с. 178; 8, с. 254]. Іони Ca²⁺ утворюють із зазначеними реагентами осад хромату кальцію жовтого кольору, який розчиняється в сильних кислотах (HCl, HNO₃) та ацетатній кислоті:



У той же час не всі автори звертають увагу на деякі особливості приведених реакцій. Перш за все, розчинність хромату кальцію у воді за різних умов складає [9, с. 132] (в г/100 г розчинника): 19°C – 2,3; 70°C – 0,79; 100°C – 0,42. Таким чином, отримати жовтий осад можливо лише під час зливання досить концентрованих розчинів, які під

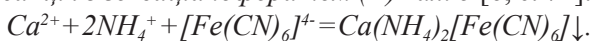
час пом'якшення води не утворюються. Тому, на нашу думку, немає сенсу розглядати дану реакцію більш детально, хоча за інших умов вона може бути досить перспективною – наприклад, під час утилізації регенераційних розчинів іонообмінних установок.

Більш перспективною є реакція з оксалатом амонію $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. У результаті реакції іони Ca^{2+} утворюють білий кристалічний осад CaC_2O_4 , який розчиняється в сильних кислотах і не розчиняється в CH_3COOH [6, с. 72]:



Варто пам'ятати, що під час використання концентрованих розчинів білий дрібнокристалічний осад утворюється відразу, з розбавлених розчинів – поступово [7, с. 179]. Розчинність оксалату кальцію складає $6,2 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³. Чутливість реакції складає 100 мкг. Для успішного проведення реакції спочатку оцтовою кислотою виводять $\text{pH} < 7$, краплями додають реагент до проби і встановлюють $\text{pH} > 7$ (слабкоаміачне середовище). При низьких концентраціях компонентів рекомендується нагрівання суміші, що сприяє формуванню осаду. Очевидно, що труднощі з формуванням осаду у випадку незначних концентрацій іонів кальцію та нестабільність самого процесу перешкоджають використанню методики у процесах пом'якшення води.

Більш чутливою, хоча і більш складною, є реакція з гексаціанофератом (II) калію [6, с. 72]:

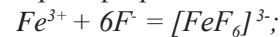


Чутливість реакції складає 25 мкг. Недоліком реакції є необхідність проведення її в аміачному буфері та під час нагрівання суміші до кипіння. Методика аналізу полягає в такому. До проби досліджуваного розчину додають 2 краплі аміачного буферного розчину ($\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$), нагрівають до кипіння і осаджують приблизно рівним об'ємом насиченого розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. У результаті випадає білий кристалічний осад $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Досить складна реакція, яка потребує приготування значної кількості реагентів, тому її застосування під силу кваліфікованим хімікам.

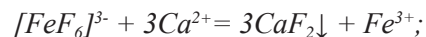
Цікавим видається опосередковане виявлення іонів Ca^{2+} (крапельна реакція). Для її реалізації на фільтрувальний папір наносять краплю розчину FeCl_3 і обережно підсушують над полум'ям газового пальника. Далі на оброблений фільтрувальний папір додають розчин NaF і також висушують. Третім на фільтрувальний папір наносять розчин NH_4SCN . Тепер, якщо на оброблений таким чином

фільтрувальний папір капнути розчин, що містить катіони кальцію, – пляма набуває криваво-червоного забарвлення. Процеси, що мають місце під час реалізації цієї методики, пояснюються протіканням кількох реакцій [6, с. 72]:

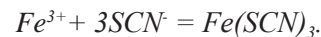
– оброблення змоченого хлоридом заліза (III) фільтрувального паперу розчином NaF супроводжується його знебарвленням у результаті зв'язування іонів Fe^{3+} у безбарвні фторидні комплекси



– під час змочування фільтрувального паперу розчином, що містить іони Ca^{2+} , останні утворюють із фторид-іонами малорозчинну сполуку, руйнують фторидні комплекси і звільняють катіони Fe^{3+} :



– наявність вільних катіонів Fe^{3+} супроводжується утворенням комплексу $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ криваво-червоного кольору, що і надає смужці паперу забарвлення:



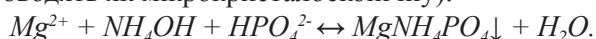
Досить цікава методика, однак придатна для використання в лабораторних умовах, тому не може вважатися придатною для виробничих умов.

Надзвичайно чутливою є реакція іонів кальцію з родизонатом натрію [7, с. 196; 10, с. 161]. Суть методики полягає в такому. Родизонат натрію ($\text{Na}_2\text{C}_6\text{O}_6$) з іонами Ca^{2+} в лужному середовищі утворює осад основного родизонату кальцію фіолетового кольору. Характерною особливістю реакції є її миттєвість, відсутність осаду в нейтральному середовищі та висока чутливість, яка складає біля 1 мкг іонів Ca^{2+} . Для проведення аналізу необхідно краплю нейтрального чи слабкокислого досліджуваного розчину помістити на листок фільтрувального паперу чи фарфорову пластинку. Далі додають краплю свіжого 0,2%-го розчину родизонату натрію та 1 краплю 0,5 н розчину NaOH . За наявності у пробі іонів Ca^{2+} випадає осад фіолетового кольору. Реакції заважають іони Ba^{2+} та Sr^{2+} , однак, зважаючи на їх невисокі концентрації в природних водах у порівнянні з концентраціями іонів Ca^{2+} , їх впливом на результат аналізу можна знехтувати. Це одна з найбільш придатних реакцій для оперативного контролю вмісту іонів кальцію.

На закінчення варто також згадати кілька традиційних відомих реакцій з іонами Ca^{2+} . Так, давно відомо, що під час внесення в полум'я газового пальника солі кальцію, змоченої краплею розчину хлоридної кислоти, полум'я стає цегляно-червоним. За відсутності інших катіонів II аналітичної групи відкривати іони Ca^{2+} можливо з використанням карбонату амонію. У результаті такої реакції

утворюється білий осад, практично нерозчинний у воді.

Методики якісного визначення катіонів Mg^{2+} . Реакція іонів Mg^{2+} з *гідрофосфатом натрію* Na_2HPO_4 у присутності NH_4Cl і NH_4OH є чи не найчастіше рекомендованою в аналітичній хімії [6, с. 186]. У присутності хлориду амонію і аміаку в результаті реакції утворюється малорозчинна подвійна сіль $MgNH_4PO_4$ у вигляді білих блискучих кристалів, форма яких залежить від способу їх одержання: за повільного – призми, трапедії, за швидкого – зірочки або дендрити (якщо реакцію проводять як мікрокристалоскопічну):



Однак методика має кілька суттєвих недоліків. Перш за все, це широкий перелік катіонів більшості металів, що утворюють малорозчинні фосфати з Na_2HPO_4 чи гідроксиди з NH_4OH і підлягають попередньому вилученню. Сама реакція і утворена тверда фаза значною мірою залежить від умов осадження – температури, співвідношення компонентів, використаних реагентів і т.п. Методика потребує нагрівання компонентів та тривалого (до 2-х годин) терміну витримки для росту кристалів. Крім цього, зважаючи на значну розчинність осадженої твердої фази, при початкових концентраціях іонів Mg^{2+} менше 50 мг/дм³ отримання стабільних результатів значно ускладнюється. Разом із тим рекомендується така методика проведення аналізу. У пробірку вносять 5-10 крапель проби води, додають 3-5 крапель розчину NH_4Cl і 2-3 краплі NH_4OH . Розчин NH_4Cl додають для того, щоб запобігти утворення осаду $Mg(OH)_2$. Після перемішування вносять 3-5 крапель розчину Na_2HPO_4 . Повертають пробірку в горизонтальне положення, щоб реакційна суміш потрапила на її стінки, і потирають їх скляною паличкою. Далі пробірку тримають 1-2 хв на водяній бані і охолоджують до кімнатної температури. Осадження на стінках пробірки блискучих кристаликів свідчить про наявність іонів магнію у пробі води.

За подібних умов реалізується і реакція з *8-оксихіноліном* HO_x [6, с. 87]. Із солями магнію в амонійному середовищі при рН = 8 - 13 8-оксихінолін утворює жовто-зелений кристалічний осад оксихіноліату магнію $Mg(Ox)_2$.

Недоліком реакції є той факт, що 8-оксихінолін утворює забарвлені комплекси з катіонами Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Si^{2+} , Va^{2+} тощо, тому вони підлягають попередньому вилученню. У загальному випадку методика аналізу виконується таким чином. У пробірку вносять 2-3 краплі досліджу-

ваної води і 2-3 краплі розчину NH_4OH . У результаті у пробірці випадає білий осад $Mg(OH)_2$. До утвореної суміші додають краплями розчин амоній хлориду NH_4Cl до повного розчинення білого осаду $Mg(OH)_2$. До отриманого розчину краплями додають спиртовий розчин 8-оксихіноліну до утворення жовто-зеленого осаду. Чутливість реакції складає 0,1 мг іонів магнію. Багатостадійність методики та необхідність деяких навичок хіміка значно ускладнюють її використання.

Гідроксид магнію має здатність адсорбувати на своїй поверхні деякі *органічні барвники*. При цьому забарвлення утвореної сполуки відрізняється від забарвлення барвника в розчині. До таких барвників відносять магнезон, феназо, титановий жовтий, хіналізарин, дифенілкарбазид та ін. Цим реакціям можуть заважати солі амонію (не випадає $Mg(OH)_2$), тому їх необхідно видаляти.

З іонами Mg^{2+} у лужному середовищі *хіналізарин* утворює малорозчинну сполуку синього кольору [6, с. 88]. Вважається, що хіналізариновий лак є адсорбційною сполукою гідроксиду магнію з реагентом. Реакції не заважають іони лужноземельних металів, а також іони алюмінію за великого надміру лугу (Al^{3+} зв'язується за цієї умови у стійкі безбарвні гідроксокомплекси). Іони амонію перешкоджають виявленню Mg^{2+} , оскільки сприяють розчиненню $Mg(OH)_2$, знижуючи рН середовища. У лужному середовищі розчин хіналізарину забарвлений у фіолетовий колір, тому проводять контрольний дослід. Для проведення аналізу до 1-2 крапель проби води додають стільки ж розчину реагенту та 30%-го розчину лугу. У результаті у пробірці утворюється осад синього кольору. Для контролю в іншу пробірку до 1-2 крапель дистильованої води додають ті ж реактиви, що наведені вище, – розчин забарвлюється у фіолетовий колір. Необхідність порівняння забарвлення робить методику досить суб'єктивною та знижує стабільність отримуваних результатів.

Досить перспективною, на наш погляд, є реакція з *магнезоном* [8, с. 189]. Вважається, що реакція базується на адсорбції барвника на поверхні частинок гідроксиду магнію під час його осадження. Реакція проходить миттєво і супроводжується зміною початкового забарвлення барвника. Чутливість реакції складає 0,5 мкг іонів магнію. Для проведення аналізу на предметне скло наносять краплю проби води і додають 1-2 краплі лужного розчину магнезону (0,1%-й розчин в 2 н $NaOH$). У результаті реакції утворюється синій осад. Суттєвою перевагою аналізу є те, що за малих концентрацій іонів Mg^{2+} осад не утворюється, але

розчин забарвлюється в синій колір. Якщо розчин кислий, з'являється жовте забарвлення. Для переходу забарвлення необхідно додати до нього кілька крапель розчину лугу. Проведенню реакції заважають іони Ni^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , гідроксиди яких також забарвлюються магнезоном.

Ще одним барвником, що специфічно реагує з гідроксидом магнію, є *феназо*. Феназо – порошок темно-коричневого кольору, не розчинний у воді та кислотах, але розчинний у спирті, ацетоні, хлороформі та бензолі. Розчин барвника має жовтий колір, який під час додавання лугу переходить у червоний. Феназо утворює з гідроксидом магнію забарвлену в синьо-фіолетовий колір адсорбційну сполуку. Для виконання аналізу в пробірку наливають 0,5 мл проби води, додають 2 мл 4 н. розчину NaOH і 1 краплю 0,001%-го спиртового розчину феназо, струшують і дають постояти протягом 1 хвилини. У пробірці спостерігається випадання синьо-фіолетового осаду [10, с. 101].

Аналогічно взаємодіє з гідроксидом магнію і барвник *титановий жовтий* [11, с. 134]. Розчин барвника в лужному середовищі має жовто-буре забарвлення. У процесі взаємодії з гідроксидом магнію забарвлення змінюється на червоне. При цьому іони лужних і лужноземельних металів не заважають реакції. Для аналізу до 3-5 краплин нейтрального або слабкокислого досліджуваного розчину додають 3-5 краплин титанового жовтого і 1 мл 2 н. розчину лугу. Залежно від кількості магнію в розчині утворюється червоний осад, або розчин забарвлюється в червоний колір, у випадку слабого нагрівання якого випадає червоний осад.

Дещо складніше відбувається реакція між іонами магнію та гіпойодитом калію KIO [11, с. 131]. Під час осадження магнію у вигляді гідроокису в присутності йоду випадає осад буро-червоного кольору. Вважається, що цей осад є адсорбційною сполукою $\text{Mg}(\text{OH})_2$ і I_2 . Реакція краще відбувається з реактивом, що являє собою лужний розчин йоду і йодиду калію.

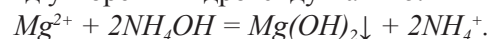
Реакцію розчинення йоду в лузі можна зобразити таким рівнянням:



Як видно, реакція являє собою оборотний процес. Під час додавання реактиву до розчину солі магнію іони Mg^{2+} зв'язуються іонами OH^- і випадають в осад у вигляді $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Утворення цього осаду супроводжується зменшенням кількості іонів OH^- у розчині, внаслідок чого рівновага реакції зміщується вліво; при цьому виникає достатня кількість вільного йоду для адсорбції осадом $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Оскільки під час зберігання

іони IO^- , які постачають вільний йод для реакції, розкладаються, в аналізі слід користуватись свіжоприготовленим реактивом. Для проведення аналізу до 0,5 мл 0,1 н. розчину йоду в KI додають краплями 1 н. розчин NaOH або KOH , поки розчин не стане лимонно-жовтим. До цього розчину приливають 1 мл досліджуваної води. У присутності магнію випадає буро-червоний осад. Цією реакцією можна виявляти магній у присутності барію, стронцію і кальцію. Солі амонію і кислоти заважають реакції, оскільки гідроокис магнію у присутності солей амонію не випадає, а в кислотах розчиняється.

Відомо, що гідроксид магнію, частково розчиняючись у воді, встановлює $\text{pH} \approx 10$, за якого фенолфталеїн має яскраво-червоний колір [12, с. 139]. На цій властивості базується ще одна якісна реакція на іони магнію. Для її виконання на смужку фенолфталеїнового паперу наносять краплю досліджуваної води і краплю 2 н. розчину аміаку. Папір забарвлюється в червоний колір, що залежить як від присутності надлишку NH_4OH , так і від утворення гідроксиду магнію:



Далі, тримаючи папір над полум'ям, обережно висушують його. При цьому аміак і вода випаровуються, і червоне забарвлення зникає. Якщо тепер обробити папір краплею води, то в присутності Mg^{2+} він знову почервоніє внаслідок часткового розчинення $\text{Mg}(\text{OH})_2$. За відсутності іонів Mg^{2+} папір залишиться безбарвним.

Реакція дозволяє виявляти іони Mg^{2+} у присутності іонів K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} і Ba^{2+} . Катіони Al^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Bi^{3+} , Pb^{2+} , Ag^+ , Hg_2^{2+} повинні бути попередньо видалені. Іони NH_4^+ , присутність яких перешкоджає випадінню осаду $\text{Mg}(\text{OH})_2$, повинні також бути відсутніми. Недоліком методики також є необхідність проведення її в лабораторних умовах.

Висновки. Проведені дослідження підтверджують наявність достатньої кількості якісних реакцій для встановлення моменту насичення іоніту під час пом'якшення природних вод. Для якісного аналізу іонів Ca^{2+} найбільш прийнятною видається реакція з використанням родизонату натрію. Вона надзвичайно чутлива, не потребує попереднього оброблення проби води та складних маніпуляцій у процесі аналізу. Для якісного аналізу іонів Mg^{2+} найбільш простою та прийнятною видається методика з використанням магнезону. Вона досить проста, передбачає використання лише одного реагенту, досить чутлива і може проводитися в умовах виробничого

процесу. Перевагою цієї методики є також той факт, що за незначних концентрацій іонів Mg^{2+} осад може не утворюватися, але проба також забарвлюється в синій колір. У той же час найбільш прийнятна методика вибирається в кожному конкретному випадку в залежності від

характеристик води, кваліфікації персоналу, вимог до результатів аналізу, умов технологічного процесу і т.п. Приведений перелік якісних реакцій дозволяє вибрати прийнятну методику для практично будь-яких умов проведення процесу пом'якшення води.

Список літератури:

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. ДСанПіН 2.2.4 – 171 – 10.
2. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. Москва : ДеЛи принт, 2004. 301 с.
3. Лалак Н., Походило Є. Аналіз методів визначення загальної твердості води. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2009. № 70. С. 177–181.
4. Аналізатор жёсткости воды «АКМС-1». URL : <https://www.lumex.ru/catalog/akms-1.php> (дата звернення: 02.01.2020).
5. Полосы индикаторные «Водомер – жесткость». URL : <https://www.norma.in.ua/vodomer-zhestkost.htm> (дата звернення: 02.01.2020).
6. Бутченко Л.І., Хохотва О.П., Терещенко О.М., Глушко О.В., Крисенко Т.В. Аналітична хімія. Методи якісного хімічного аналізу (теоретичні аспекти та лабораторний практикум) : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 152 с.
7. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Качественный анализ. Т. 1. Москва : Химия, 1970. 472 с.
8. Рева Т.Д., Чхало О.М., Зайцева Г.М., Сліпчук В.Л., Калібабчук В.О. Аналітична хімія. Якісний аналіз : навч.-метод. посіб. Київ : ВСВ «Медицина», 2017. 280 с.
9. Реми Г. Курс неорганической химии. Т. 2. Москва : Изд. иностранной литературы, 1963. 919 с.
10. Мурашова В.И., Тананаева А.Н., Ховякова Р.Ф. Качественный химический дробный анализ. Москва : «Химия», 1976. 280 с.
11. Жаровський Ф.Г., Пилипенко А.Т., П'ятницький І.В. Аналітична хімія. Київ : «Вища школа», 1969. 560 с.
12. Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа. Москва : «Химия», 1973. 584 с.

Krysenko T.V., Radovenchyk I.V., Hlushko O.V., Syrenko L.V. QUALITATIVE REACTIONS FOR CONTROL OF ION-EXCHANGE RESIN SATURATION LEVEL IN WATER SOFTENING PROCESSES

The results of the analysis of the known chemical reactions for qualitative analysis of the Ca^{2+} and Mg^{2+} ions presence in water are presented. Such reactions can be used to determine the moment of saturation of cation-exchange resin at water softening processes. It is stated that modern ion-exchange management technologies of water softening process are based on calculated water volume, which can be processed by a certain amount of cation-exchange resin for water of given characteristics. Other methods of water hardness control are too complex and expensive (such as, for example, “AKMS-1” analyzer) or do not allow to fix the leap of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions (such as the “Vodomer –Hardness” indicator strips). Therefore, it is desirable for industry to use simple to implement and cheap qualitative reactions. For the qualitative analysis of Ca^{2+} ions, it was proposed to use a qualitative reaction with sodium rhodisonate. This qualitative reaction is extremely sensitive, does not require pre-treatment of water samples and complex manipulations during the analysis process and can be implemented by maintenance personnel without additional special training. For the qualitative analysis of Mg^{2+} ions, the simplest available method is reaction with magnezon. It is very simple and sensitive reaction, it involves only one reagent and can be easily carried out in a production process. The main advantage of this method is the fact that at low concentrations of Mg^{2+} ions, the precipitate may not form, but the sample become blue, which also allows to use this reaction for Mg^{2+} ions determination. It is stated that under real conditions the most appropriate method must be chosen in each case separately, depending on the water characteristics, qualification of personnel, requirements for the analysis results, conditions of the technological process, etc. The following list of quality reactions allows chooses an acceptable method for practically any conditions of the water softening process. The features of known reactions, the conditions of their realization and the results of their interaction, the minimal concentrations of ions revealed by these reactions are given. Reactions that are suitable for operational control of water softening processes have been identified. The use of such reactions allows effectively identifying the leap of hardness ions during the ion-exchange water softening processes.

Key words: water softening, cation-exchange resin, qualitative analysis, hardness ions, chemical identification of stiffness ions, sodium rhodisonate, magnezon.

УДК 669.054.8:669.27

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/14>**Малышев В.В.**

Открытый международный университет развития человека «Украина»

Залюбовский М.Г.

Открытый международный университет развития человека «Украина»

Габ А.И.

Открытый международный университет развития человека «Украина»

Шахнин Д.Б.

Открытый международный университет развития человека «Украина»

Косенко В.А.

Открытый международный университет развития человека «Украина»

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ВОЛЬФРАМА И ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ЕГО ОСНОВЕ (ЧАСТЬ II: ПЕРЕРАБОТКА В РАСПЛАВАХ И АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ В ИОННЫХ ЖИДКОСТЯХ)

Розглянуто способи та технології переробки відходів вольфраму і твердих сплавів на його основі шляхом переробки в розплавах та анодного розчинення у водних і розплавлених електролітах. Наведено дані щодо технологій електропроменевої плавки, обробки в галогенідних і галогенідно-оксидних розплавах, анодного розчинення стаціонарними та нестаціонарними методами, відпалювальної плавки, окиснювального відпалу. Отримання зливків високої чистоти можливе з використанням методу вакуумної електропроменевої плавки.

Розкладання брухту сплавів у розплавленій суміші $\text{NaOH-Na}_2\text{WO}_4$ дозволяє селективно розділити компоненти брухту. Електрохімічні технології переробки W-Ag сплавів дозволяють отримувати складники цих сплавів у вигляді порошків. Розроблено технології вилучення компонентів сплавів із вольфрамовмісних відходів приладобудівних підприємств, відходів зварювальних електродів і бурових долот. «Цинковий» спосіб дозволяє регенерувати компоненти для повторного виробництва твердих сплавів. Перспективною є технологія автоклавного вилуговування продуктів відпалу в лужному середовищі з одночасним розділенням і регенерацією вольфраму й кобальту. Анодне розчинення відходів застосовне для переробки брухту вольфрамовмісних металокерамічних композицій на зв'язці із заліза або сплавів на його основі та торованого вольфраму.

Розроблено методи математичного планування анодного розчинення. Застосування змінного струму в оптимальних умовах забезпечує 90–99% ступеня вилучення в розчин цінних компонентів. Залежно від складу твердих сплавів можливе застосування електролітів на основі соляної, сірчаної та азотної кислот. Комбінування електрохімічних і хімічних процесів з отриманням напівпродуктів вольфрамової кислоти і оксалату кобальту з їх подальшим термічним відновленням у середовищі водню дозволяє одержувати металеві порошки підвищеного ступеня чистоти.

Перспективним є застосування високоенергетичної обробки в діелектричних середовищах. Метод електролізу в розплавах також дозволяє роздільно осаджувати на катодах порошки кобальту і карбід вольфраму дисперсністю менше 100 нм і чистотою понад 90%. Визначено, що застосування певної технології обумовлено розчинністю вихідної сировини в певному розплавленому середовищі та можливістю використання відходів у якості анодного матеріалу.

Ключові слова: вольфрам, електроліз, розплав, покриття, корозія.

Постановка проблемы. В последнее время кроме методов физико-механической обработки газами и переработки в водных растворах перспективными становятся методы переработки отходов вольфрама и твердых сплавов в расплавах

и анодного растворения в ионных жидкостях. Применение ионных жидкостей вместо агрессивных газов позволяют существенно поддерживать экологическую технологичность процессов. Рассмотрены перспективы применения водных

растворов кислот и щелочей, галогенидных и галогенидно-оксидных расплавов в качестве ионных сред. Показана возможность использования постояннотокового и нестационарного анодного растворения и высокоэнергетической обработки отходов.

Цель работы – систематизация литературных данных по ресурсосберегающим технологиям переработки отходов вольфрама и твердых сплавов на его основе путем переработки в расплавах и анодного растворения в ионных жидкостях.

Изложение основного материала исследования
Переработка отходов вольфрама и его сплавов в расплавах. Для переработки отходов вольфрама и молибдена в слитки высокой чистоты в патенте [1, с. 175] предлагается способ вакуумной электроннолучевой плавки. Установка имеет две камеры для ввода сырья в зону плавки, вакуумную часть с двумя пушками и кокиль для непрерывного литья слитка. Мощность печи составляет 1200 кВт, производительность – 50 кг/ч, вакуум – $(1,33-13,33 \cdot 10^{-2})$ Па.

В патенте [2, с. 1] предложен способ извлечения тугоплавких металлов, в том числе вольфрама, из лома суперсплавов разложением лома в расплаве солевой смеси, содержащей 60–95 масс. % NaOH и 5–40 масс. % Na_2SO_4 . При охлаждении расплава до комнатной температуры продукт разложения лома переходит в твердую фазу. Солевой сплав измельчают и после обработки водой при температуре ~ 80°C получают водную суспензию, которую подвергают фильтрованию. Из водной фазы извлекают вольфрам, тантал и рений известными методами.

Для получения «умеренно-плотных» материалов измельченные отходы вольфрамовых сплавов обрабатывают при нагревании матричными компонентами, обладающими плотностью менее 15 г/см³ (Zn, Sn, Cu, Bi, Al, Fe или их сплавами). Расход матричных компонентов составляет 20–70% от массы исходных отходов. Дальнейшая переработка полученного «умеренно-плотного» продукта основана на известных операциях доизмельчения, отгонки, рафинирования и других. Такая технология использована при утилизации вольфрамовых сплавов типа ВНЖ, содержащих 50–90% W, 7–35% Ni и 3–15% Fe [3, с. 2].

По технологии [4, с. 56] скрап вольфрам-серебряного сплава, являющегося отходами электрических контактов «вольфрам-серебро», перерабатывали электролизом хлоридных расплавов, что позволяло за одну стадию получать составляющие сплава в виде порошков. По составу они

соответствовали сплавам, применяемым при изготовлении контактов «вольфрам-серебро».

В работе [5, с. 26] для переработки отходов вольфрам-медного сплава предлагается использовать «цинковый» метод. В процессе взаимодействия сплава W-Cu с расплавленным цинком происходит взаимная диффузия меди и цинка: медь переходит в расплав цинка, образуя с ним сплав, а цинк проникает в вольфрамовый каркас и диффундирует в находящуюся в каркасе медь, также образуя с ней сплав.

В [6, с. 235] разработаны технологические параметры импульсного воздействия дробления твердосплавных материалов, позволяющие получить продукт с заданными свойствами с целью экономии кобальта и повышения физико-механических характеристик мелкодисперсных твердых сплавов. Разработана промышленная высокоэффективная технология производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента из вольфрамкобальтовых и вольфрамникелевых сплавов путем прямой регенерации вторичного сырья без использования термохимических и металлургических методов. Установлено, что наиболее оптимальной схемой разрушения твердых сплавов является устройство для синхронизации зарядов применительно к схеме двухстороннего заряда дробления твердых сплавов системы карбид вольфрама-никель-кобальт с различным содержанием компонентов. Из анализа полученных данных следует, что предпочтительно выбирать скорость детонации инициирующего заряда взрывчатого вещества выше скорости детонации основного заряда взрывчатого вещества, поскольку увеличивается угол инициирования внутреннего заряда и улучшается передача детонации.

Схема переработки вольфрамсодержащих отходов приборостроительных предприятий (производство монокристаллов вольфрамата кадмия и изделий из них), предложенная в работе [7, с. 57], позволяет извлекать из них 95,8% вольфрама в виде WO_3 и 97% кадмия. Полученные триоксид вольфрама и кадмий пригодны для возращения в производство монокристаллов.

Технология [8, с. 165] была опробована при переработке образующихся в производстве сварочных электродов отходов вольфрама и молибдена, которые загрязнены радиоактивным ^{232}Th . В результате переплавки скрапа совместно с железом был получен сплав Fe – W – Mo (25%), а оксид тория утилизировался в шлак. Следует отметить эффективную технологию утилизации

вольфрама из отходов буровых долот, включающую окислительную плавку в дуговой печи и использование полученного вольфрамсодержащего шлака при выплавке быстрорежущей стали [9, с. 30]. Извлечение вольфрама в шлак составляет ~ 90%, а расход ферровольфрама на легирование стали был снижен на 5,8–6,4 кг/т.

Процесс регенерации карбида вольфрама селективным электролизом растворов кислот HCl , H_3PO_4 , H_2SO_4 и HNO_3 предложен в [10, с. 4]. Ввод хелатных компонентов в электролит для комплексообразования с ионами вольфрама предотвращает пассивацию карбида вольфрама, увеличивая скорость растворения компонентов твердого сплава.

«Цинковый» способ основан на растворении кобальтовой составляющей твердых сплавов в расплавленном цинке и дистилляции последнего [11, с. 213]. Первую стадию комплексного процесса проводят при температуре 750–850°C в инертной (аргон, азот) атмосфере. При этом кобальтовая связка выщелачивается цинком за 2–3 часа, а скрап твердых сплавов превращается в хрупкую губку, которую измельчают в порошок с размером частиц 0,5–1,0 мкм. Содержание в нем примесей составляет Zn 0,005%; Ni – 0,21; Fe – 0,049; Cu – 0,009; Mg – 0,035; Na – 0,045; O₂ – 1,0; C – 6,23%. Такой порошок может быть использован для производства твердых сплавов. Сплав Zn-Co подвергают дистилляции при температуре 600–850°C в вакууме 4–6 Па в течение 6–8 ч, получая цинк и кобальт, которые могут использоваться повторно.

Для переработки лома твердосплавных шарошечных долот в работе [12, с. 1761] предлагается проводить окислительный обжиг сырья при температуре 950–1050°C и последующую обработку в расплаве $\text{NaOH-NaNO}_3\text{-NaCl}$ при 450–550°C. Экспериментально установлено, что интенсивность процесса окисления существенно снижается при температурах выше 1000°C, что обусловлено образованием на поверхности лома плотного слоя, состоящего из вольфрамата кобальта, тормозящего проникновение кислорода в зону реакции.

Усовершенствованию механохимической технологии с применением расплавов NaOH посвящена работа [13, с. 230]. Отходы сплавов WC-Co термически окисляют при температуре 600°C и растворяют в NaOH . В результате получают Na_2WO_4 , который является конечным продуктом и сырьем для дальнейшего получения WC или W.

Разновидность экологически чистого механохимического способа извлечения W и Co из

отходов инструмента на основе WC представлена в [14, с. 120]. После обжига на воздухе отходы выщелачивают автоклавно в щелочной среде, методами кристаллизации разделяют и регенерируют W и Co.

Анодное растворение отходов вольфрама и его сплавов в водных и расплавленных электролитах. Лом вольфрамсодержащих металлокерамических композиций на связке из железа или сплавов на его основе в патенте [15, с. 3] авторы предлагают перерабатывать анодным растворением, которое проводится в растворах H_2SO_4 концентрации 2,0–2,2 моль/л при комнатной температуре и анодной плотности тока 2,5–3,5 А/дм².

Несколько технологий может быть применено для переработки отходов торированного вольфрама. Одна из них – анодное окисление отходов в аммонийных растворах [16, с. 10]. В электролит вводят угольную кислоту или ее соединения в расчете на концентрацию 0,2 мМ/л. Анодное растворение вольфрама осуществляют в присутствии кислорода, поддерживая его парциальное давление в герметичном электролизере ~ 0,03 МПа. В раствор добавочно вводят окислитель в форме H_2O_2 или его соединения с мочевиной. Раствор покрывают сверху органической жидкостью, нерастворимой в воде и устойчивой в кислороде и аммиаке, для исключения захвата CO_2 из воздуха. Для этого рекомендуют перфлюоритные соединения с 13–17 атомами углерода. Кристаллический вольфрамат аммония, полученный в процессе анодного растворения, термически разлагается, и аммиак возвращается в электролизер.

Известная технология переработки отходов металлического вольфрама, молибдена и рения электрохимическим растворением в аммиачных электролитах может быть оптимизирована за счет использования переменного тока вместо проведения процесса в режиме постоянного тока [17, с. 80]. Предлагаемый вариант позволяет осуществлять процесс при высокой плотности тока без значительной пассивации электродов и отказаться от использования выпрямляющих устройств. Физико-химическая сущность действия переменного тока заключается в снижении энергии активации электродных реакций за счет изменения механизма самого электродного акта.

Методом математического планирования эксперимента в работе [18, с. 50] был определен следующий оптимальный режим электрохимического растворения отходов металлического вольфрама под действием переменного

тока в аммиачных электролитах: температура – 30°C, частота тока – 50 Гц, плотность тока – 3,5 кА/м² и выше. Выход по току в таких условиях составляет ~ 100%, а скорость растворения вольфрама достигает 1,5 кг/(м²ч). По сравнению с анодным растворением металлического молибдена, электрохимическое выщелачивание вольфрама в аммиачных электролитах протекает более активно с минимальными потерями электроэнергии (электрохимические эквиваленты вольфрама и молибдена составляют 1,145 и 0,594 г/(А ч) соответственно). Было также установлено, что в сопоставимых условиях эффективность электрохимического окисления уменьшается в ряду W > Mo > Re, что в первом приближении коррелирует со значениями стандартных электродных потенциалов этих металлов в водных растворах (+ 0,049, + 0,154 и + 0,30 В соответственно).

Технологическая схема переработки легированных сплавов на никелевой основе, содержащих вольфрам, ниобий и молибден, с использованием электрохимического растворения под воздействием переменного тока предложена в работе [19, с. 10]. В оптимальных условиях обеспечивается степень извлечения в раствор 90–99% никеля, кобальта, хрома; в твердую фазу – 95–99% вольфрама, титана, ниобия, алюминия; молибден распределяется между раствором и твердой фазой.

В электрохимическом способе переработки отходов твердых сплавов используют различные электролиты на основе соляной, серной и азотной кислот. Для разделения карбида вольфрама и кобальта при электрохимической переработке отходов твердых сплавов марки ВК-6 в качестве электролита в работе [20, с. 110] применяли 1,25 М раствор H₃PO₄. Технология характеризуется минимальными энергозатратами. Отмечено, что при потенциале более 0,7 В начинается разложение WC с выделением CO₂.

Исследован комбинированный электрохимический и химический процесс извлечения вольфрама и кобальта из твердых сплавов марок ВК с получением в качестве полупродуктов вольфрамовой кислоты и оксалата кобальта с последующим их термическим восстановлением в среде водорода до металлических порошков повышенной степени чистоты [21, с. 53]. Электролитом служил 10–12%-й раствор азотной кислоты. Анодом являлся вторичный твердый сплав марок ВК. В качестве катодов изучали такие материалы, как титан, вольфрам и нержавеющей сталь марки 1X18N10T. Обнаружено, что на

катоде и аноде электродные процессы протекают с образованием пленок оксидов вольфрама WO_{3-x} нестехиометрического состава, обладающих электрохромными свойствами. Показано, что при наличии такой пленки уменьшается перенапряжение выделения водорода на катоде. По разработанной комплексной методике получены опытные партии порошков оксида вольфрама и кобальта высокой чистоты.

Результаты экспериментов по электрохимическому окислению карбидных отходов твердых сплавов в режиме однополупериодного синусоидального переменного тока приведены в работе [22, с. 7]. Установлено, что в таких условиях в газовой фазе образуется смесь CO₂-CO в объемном соотношении 2:1, а в анодном шламе концентрируется осадок вольфрама преимущественно в виде гидратированного оксида вольфрама состава WO₂(OH)₂. Получена товарная продукция в виде чистых Co₃O₄ и WO₃.

В [23, с. 2265] предложено электрохимическое растворение отходов твердых сплавов WC-Co в растворах кислот. Контролируя параметры электролиза, возможно получение как порошков W и Co, так и солей кобальта. При этом степень регенерации WC и Co составляет около 98 и 92–93% соответственно.

Перспективным является применение высокоэнергетической обработки в диэлектрических средах. Результаты исследований способа регенерации вольфрамокобальтового твердого сплава на никелевой связке марки ВН8 (WC + 8% Ni) представлены в работе [24, с. 553]. Основой способа является высокоэнергетическая обработка амортизационного лома изделий из сплава ВН8 в диэлектрической среде трех видов с целью получения продуктов диспергирования. Кроме карбида вольфрама и никеля, в продуктах диспергирования присутствовали чистый вольфрам, полукарбид вольфрама W₂C, а также оксиды никеля и вольфрама, содержание которых было значительно меньше (~ в два раза), чем при обычном окислении сплава ВН8. Для определения физико-механических свойств регенерированного сплава были изготовлены образцы по режиму: гомогенизирующий размол продукта диспергирования – карбидизация в метановодородной смеси – прессование «сырых» образцов – двухстадийное спекание. Предел прочности при изгибе и твердость регенерированного сплава превысили значения этих показателей для промышленно выпускаемого сплава ВН8 и оказались на уровне показателей твердого сплава марки ВК8.

В [25, с. 256] электролиз расплавленной смеси NaCl – KCl был применен для разделения и возвращения в технологический процесс WC-Co из твердых сплавов WC-Co. Отходы твердых сплавов служили растворимым анодом. Исследования электрохимического поведения W и Co методами циклической и квадратно-волновой вольтамперометрии показали, что как потенциалы растворения W и Co (0 и 0,6 В), так и потенциалы выделения (-0,2 и 0,2 В) существенно отличаются. Это позволило отдельно осажать на катодах порошки Co и WC дисперсностью менее 100 нм и чистотой более 90%.

В [26, с. 694] изучено влияние напряжения на ванне, плотности тока, продолжительность

электролиза на состав и дисперсность катодных продуктов.

В [27, с. 79] отходы твердых сплавов WC-10Co использовали в качестве анодного материала для получения кобальта и вольфрама электролизом расплава NaF-KF при температуре 750°C. Методом циклической и квадратно-волновой вольтамперометрии доказано возможность отдельного осаждения ультрадисперсных порошков металлов по причине различных потенциалов осаждения.

Выводы. Применение определенных технологий обработки в расплавах и анодного растворения в ионных средах характеризуется такими особенностями: возможностью растворения исходного сырья в расплавленном электролите и его применения в качестве анодного электропроводного материала.

Список литературы:

1. Способ производства металлических слитков высокой чистоты: пат. 480332, Япония: МКИ5 С 22 В 9/22, С 22 С 1/02. № 194172; заявл. 23.07.90; опубл. 13.03.92, Кокай токке кохо. Сер. 3(4). 1992. С. 175–179.
2. Способ рекуперации ценных металлов из суперсплавов (варианты): пат. 2447165, РФ: МПК С. 22 В 7/00 (2006.01). № 2009102948/02; заявл. 29.06.2007; опубл. 10.04.2012, 4 с.
3. Methods for producing medium-density articles from high-density tungsten alloys: пат. 6884276 США: МПК7 С 22 С 27/04. № 10/238770; заявл. 09.09.02; опубл. 26.04.05, 8 с.
4. Розанов И.Г., Ивановский Л.Е. Переработка вольфрам-серебряных композиционных материалов электролизом в хлоридных расплавах. *Расплавы*. 1996. № 4. С. 55–57.
5. Вольдман Г.М., Бульба С.Л., Науменков С.П., Тарасов А.В. Диффузионные процессы, протекающие при переработке вольфрам-медного композиционного материала цинковым методом. *Известия вузов. Цветная металлургия*. 1991. № 5. С. 24–28.
6. Савченко Ю.В. Ударно-волновое разрушение твердого сплава. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. № 54. С. 232–240.
7. Кулифеев В.К., Мякишева Л.В., Спасенников С.В. Технология извлечения металлов из отходов приборостроительных предприятий. *Экология и бизнес: трансфер технологий* : Материалы междунар. семинара (Москва, 4–6 декабря 1995 г.). Москва, 1996. С. 55–59.
8. Quade U., Muller W. Recycling of ²³²Th contaminated tungsten scrap. *International conference on naturally occurring radioactive materials (NORM IV): Proceedings* (Szczyrk, Poland, 17–21 May 2004). Vienna (Austria): IAEA, October 2005. С. 162–168.
9. Меркулов В.Ф., Адельшин Ю.Г., Жданович К.К. и др. Технология утилизации вольфрама из отходов буровых долот. *Сталь*. 1984. № 10. С. 30–32.
10. Process for recovering tungsten carbide from cemented tungsten carbide scraps by selective electrolysis: Patent of United States US5384016A. Classification C01B32/949. Appl. US08/150,376; filed 1993-11-10; publ. 1995-01-24, 6 p.
11. Gulisija Z., Odanovic R., Gulisija R. Investigation of a technical method for the reclamation of hard metal scrap. *Sci. Sinter*. 1995. Vol. 27. № 3. P. 211–217.
12. Зарубицкий О.Г., Орел В.П., Дмитрук Б.Ф. Пирохимическая технология переработки вольфрам- и кобальтсодержащего сырья. *Журнал прикладной химии*. 2004. Т. 77. № 11. С. 1761–1763.
13. Lee J., Kim S., Kim B. <https://orcid.org/0000-0001-9559-2763>. A New Recycling Process for Tungsten Carbide Soft Scrap That Employs a Mechanochemical Reaction with Sodium Hydroxide. *Metals*. 2017. Vol. 7. № 7. P. 230. 9 p. <https://doi.org/10.3390/met7070230>.
14. Shibata J., Murayama N., Niinae M. Recovery of tungsten and cobalt from tungsten carbide tool waste by hydrometallurgical method. *Geosystem Engineering*. 2014. Vol. 17. № 2. P. 120–124. <https://doi.org/10.1080/12269328.2014.929983>.
15. Способ переработки лома вольфрамсодержащих металлокерамических композиций: пат. 2048561 РФ: МКИ6 С 22 В 34/36. № 5037180/02; заявл. 14.04.92; опубл. 20.11.95, Бюл. № 32. 5 с.
16. Способ и устройство для анодного растворения вольфрамового скрапа: пат. 403060 Австрия: МКИ6 С 25 В 1/00. № 383/95; заявл. 03.03.95; опубл. 25.11.97. 11 с.
17. Палант А.А., Брюквин В.А. Электрохимическая переработка металлических отходов вольфрама и молибдена в аммиачных электролитах под действием переменного тока. *Металлы*. 2004. № 2. С. 79–82.

18. Палант А.А., Брюквин В.А., Грачева О.М. Оптимизация электрохимической переработки металлических отходов вольфрама при наложении переменного тока. *Цветные металлы*. 2006. № 11. С. 50–52.
19. Кузнецова О.Г., Брюквин В.А., Ермуратский П.В., Парецкий В.М. Применение переменного тока в технологии переработки кобальтсодержащих сплавов на никелевой основе. *Электрометаллургия*. 2009. № 9. С. 9–14.
20. В.В. Малышев, Габ А.И. Разделение кобальта и карбида вольфрама анодным растворением твердых сплавов в фосфорной кислоте. *Физ.-хим. мех. матер.* 2004. Т. 40. № 4. С. 109–111.
21. Зайченко В.Н., Фоманюк С.С., Краснов Ю.С., Колбасов Г.Я. Регенерация вольфрама и кобальта из вторичного сырья. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2011. № 2. С. 51–54.
22. Брюквин В.А., Палант А.А., Левчук О.М., Цыбин О.И. Электрохимическое окисление карбидных отходов твердых сплавов под действием переменного тока. *Металлы*. 2012. № 2. С. 7–9.
23. Zhou G.Z., Wang Z.F., Shao X.W., Li X. Recycling of Waste Hard Alloy via Electrochemical Dissolution Method. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 610–613. P. 2263–2267.
24. Бондаренко В.П., Благадыр М.Г., Ярчук Н.А. Вторичные карбид вольфрама и никель как сырье для производства твердых сплавов WC-Ni (ВН). *Благородные и редкие металлы: Труды IV междунар. конф. «БРМ-2003»* (Донецк, 22-26 сент. 2003 г.). Донецк : ДонГТУ, 2003. С. 553–554.
25. Xi X., Xiao X., Nie Z., Zhang L., Ma L. Electrolytic separation of cobalt and tungsten from cemented carbide scrap and the electrochemical behavior of metal ions. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. Vol. 794. P. 254–263.
26. Xi X., Liu Q., Nie Z., Li M., Ma L. Direct electrochemical preparation of cobalt, tungsten, and tungsten carbide from cemented carbide scrap. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2017. Vol. 48. P. 692–700.
27. Xi X., Liu Q., Nie Z., Li M., Ma L. Electrochemical preparation of tungsten and cobalt from cemented carbide scrap in NaF–KF molten salts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2018. Vol. 70. P. 77–83.

Malyshev V.V., Zaliubovskiy M.G., Gab A.I., Shakhnin D.B., Kosenko V.A. RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES FOR PROCESSING OF WASTE OF TUNGSTEN AND SOLID ALLOYS ON ITS BASE (PART II: PROCESSING IN MELTS AND ANODIC DISSOLUTION IN IONIC LIQUIDS)

Methods and technologies of treatment of waste of tungsten and solid alloys on its base by processing in melts and anodic dissolution in aqueous and molten electrolytes are considered. The data on the technologies of electron beam melting, of treatment in halide and halide-oxide melts, of anodic dissolution in stationary and non-stationary modes, of annealing melting, and of oxidative annealing are provided. It is possible to obtain high purity ingots using the method of vacuum electron beam melting. Scrap alloys decomposition in molten NaOH-Na²WO⁴ mixture allows one to separate selectively the scrap components. Electrochemical technologies for processing W-Ag alloys allow obtaining these alloys components as powders.

Technologies were developed for extraction of alloy components from tungsten-containing wastes of instrument-making enterprises, as well as from wastes of welding electrodes and drill bits. The “zinc” method allows regeneration of components for hard alloys re-production. The technology of autoclave leaching of annealing products in an alkaline environment with simultaneous separation and regeneration of tungsten and cobalt is promising. Anodic dissolution of waste is applicable for the treatment of scrap of tungsten-containing metal-ceramic compositions bonded by iron or alloys based thereon, as well as of thoriated tungsten.

Methods of mathematical planning of anode dissolution were developed. The use of alternated current under optimal conditions provides 90–99% degree of extraction of valuable components into the solution. Depending on the composition of the hard alloys, electrolytes may be used based on hydrochloric, sulfuric, and nitric acids. Combining electrochemical and chemical processes with the production of tungsten acid and cobalt oxalate intermediates with their subsequent thermal reduction under hydrogen allows to obtain metallic powders of higher purity.

The use of high-energy processing in dielectric media is promising. The method of electrolysis in melts allows the cobalt and tungsten carbide powders to be precipitated separately as well with the dispersion degree less than 100 nm and with purity degree more than 90%. It was determined that the certain technology choice is due to starting material solubility in a particular molten environment and due to the possibility of using the waste as an anode material.

Key words: tungsten, electrolysis, melt, coating, corrosion.

УДК 547.793

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/15>**Сімурова Н.В.**

Національний університет харчових технологій

Попова І.В.

Національний університет харчових технологій

Майборода О.І.

Національний університет харчових технологій

Кармашов О.О.

Національний університет харчових технологій

ЗРУЧНИЙ МЕТОД ОДЕРЖАННЯ 2-АРИЛ(ГЕТЕРИЛ)-5-ХЛОРМЕТИЛ-1,3,4-ОКСАДІАЗОЛІВ

Молекула 1,3,4-оксадіазолу викликає значний інтерес завдяки широкому спектру біологічної та фармакологічної активності. Вона широко представлена в якості привілейованої структури в хімії лікарських речовин. Тому розробка зручних методів одержання заміщених 1,3,4-оксадіазолів є актуальним напрямом досліджень. Особливо цікавими є похідні 1,3,4-оксадіазолів, які містять реакційноздатне хлорметильне угруповання, що дозволяє їх подальшу хімічну модифікацію.

Робота присвячена розробці зручного препаративного способу одержання 2-арил(гетерил)-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів. Запропоновано схему, в якій вихідними речовинами є комерційно доступні ароматичні та гетероциклічні карбонові кислоти. Метод ґрунтується на одержанні гідразидів карбонових кислот, їх подальшому ацилюванні та циклізації синтезованих проміжних продуктів під дією трихлороксиду фосфору (V). Перевагами методу є високі виходи цільових 1,3,4-оксадіазолів і відсутність необхідності очищати проміжні сполуки, що значно спрощує процедуру, скорочує необхідний час, економить реагенти. Метод придатний як для одержання широкого кола 2-арил-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів, так і деяких похідних із гетероциклічними замісниками, зокрема з фурильним або тієнільним.

Будову всіх отриманих сполук підтверджено спектрами ЯМР¹H, а їх склад – елементним аналізом. Результати проведених досліджень можуть бути застосовані у синтетичній практиці, а одержані сполуки, що містять реакційноздатну хлорметильну групу, є перспективними білдинг-блоками для їх подальшої хімічної модифікації з метою одержання біологічно активних похідних, які можуть знайти застосування в якості лікарських засобів, інсектицидів тощо.

Ключові слова: синтез, циклізація, гідразид, хлорацетилхлорид, 1,3,4-оксадіазол, хлороксид фосфору.

Постановка проблеми. Оксадіазоли існують у чотирьох ізомерних формах, проте саме похідні 1,3,4-оксадіазолу мають широкий спектр біологічної активності. Серед них знайдені сполуки з протівірусною, протипухлинною, антимікробною, анальгетичною, інсектицидною властивостями. На сьогоднішній день препарати з оксадіазольним циклом застосовуються у практичній медицині в якості антиретровірусних і протипухлинних препаратів [1; 2]. Цей гетероциклічний фрагмент у медичній хімії розглядається як біоізомер карбонових кислот, естерів та амідів, для якого характерне різноманіття властивостей і застосувань [3].

Згідно літературних даних, дослідження функціональних похідних 1,3,4-оксадіазолів зосереджено як на пошуку нових методів синтезу сполук

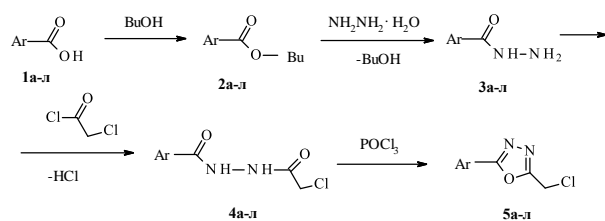
цієї групи, так і на пошуку нових галузей їх застосування. Значний обсяг наукових джерел свідчить про потенціал таких досліджень, тому розробка зручних методів одержання цих речовин є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі останніх років є значна кількість повідомлень щодо синтезу, дослідження властивостей і можливостей практичного застосування речовин із 1,3,4-оксадіазольним циклом. Цій темі присвячено декілька ґрунтовних оглядів [4; 5]. Зокрема, показано можливість застосування сполук цього класу в якості лікарських препаратів, інсектицидів. Значна кількість робіт присвячена дизайну та синтезу нових похідних із 1,3,4-оксадіазольним циклом.

Сучасні тенденції одержання 1,3,4-оксадіазолів ґрунтуються на реакціях окисної циклізації, застосуванні дегідратуючих агентів [6; 7], пошуку нових мультикомпонентних реакцій, реакцій рециклізації [8]. Проведений аналіз досліджень у цій галузі показав актуальність пошуку зручних підходів до синтезу нових функціоналізованих похідних 1,3,4-оксадіазолів, які містять реакційноздатне хлорметильне угруповання та ароматичний або гетероциклічний фрагмент. У перспективі це дозволить знайти нові речовини з високою біологічною активністю для потреб як фармацевтичної, так і інших галузей хімічної промисловості. Ця робота є продовженням досліджень авторів, присвячених методам одержання дизаміщених 1,3,4-оксадіазолів [9].

Мета статті. Метою роботи був пошук оптимальної схеми синтезу 2-арил(гетерил)-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів, яка давала б можливість одержувати препаративні кількості цільових речовин із високими виходами. Цільові сполуки є перспективними щодо подальшої функціоналізації та вивчення біологічного потенціалу їх похідних. Особливу увагу приділено комерційній доступності вихідних речовин і можливості регенерації застосованих розчинників, що дозволяє значно економити необхідні реагенти.

Виклад основного матеріалу дослідження. В якості вихідних сполук для синтезу 2-арил(гетерил)-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів було обрано ряд комерційно доступних ароматичних і гетероциклічних карбонових кислот. Ключовими інтермедіатами в синтезі заміщених 1,3,4-оксадіазолів є гідразиди карбонових кислот. Для їх одержання авторами були синтезовані бутилові естери відповідних кислот **2**, які оброблялися 65%-м розчином гідразин-гідрату. Наступною стадією було ацилування гідразидів **3** за допомогою хлорацетилхлориду з подальшою циклізацією ацильованих продуктів **4** у цільові 5-арил-2-хлорметил-1,3,4-оксадіазоли **5**, що представлено у хімічній схемі:



1-5а Ar = C₆H₅; **1-5б** Ar = 4-CH₃-C₆H₄; **1-5в** Ar = 4-CH₃OC₆H₄; **1-5г** Ar = 4-Cl-C₆H₄; **1-5д** Ar = 4-F-C₆H₄; **1-5е** Ar = 4-Br-C₆H₄; **1-5є** Ar = 4-NO₂-C₆H₄; **1-5ж** Ar = 2,4-Cl₂C₆H₃; **1-5з** Ar = 3,4-Cl₂C₆H₃; **1-5и** Ar = 2-Br-C₆H₄; **1-5к** Ar = 3-CH₃OC₆H₄; **1-5к** Ar = 3,4(CH₃)₂C₆H₃.

Синтез гідразидів кислот за цією схемою є зручним, оскільки гідразиди **3а-л** є нерозчинними у воді та легко відділяються фільтруванням. Їх аналіз свідчить про достатню чистоту (95–97% за даними ЯМР-спектроскопії), тому подальші реакції проводили без додаткового очищення сполук **3**. Використання бутанолу надає значні переваги, оскільки перебіг реакції зручно контролювати за кількістю утвореної води. Взаємодію сполук **3а-л** із хлорацетилхлоридом проводили при кип'ятінні реагентів у толуені, що приводило до ацильованих похідних **4а-л**, які після охолодження реакційної суміші випадали в осад та відділялися фільтруванням. Як бутанол, так і толуен після реакції регенерували та застосовували багатократно.

У випадку фуран- та тіофенкарбонових кислот більш зручним виявилось застосування метилових естерів. Подальша схема їх синтезу не відрізняється від наведеної вище (сполуки **5м** та **5н**).

На перебіг реакцій впливають замісники у бензеновому ядрі: вихід цільових продуктів більший у речовин, які мають електронноакцепторні замісники в ароматичному ядрі. У випадку електроннодонорних замісників (CH₃, OCH₃) реакції відбуваються повільніше, потребуючи більш тривалого нагрівання. Виходи у таких випадках дещо нижчі.

Цільові сполуки є кристалічними речовинами, стійкими до звичайних умов зберігання. За наявності кислот і вологи вони повільно розкладаються з утворенням речовин **4**, що свідчить про деяку ацидофобність оксадіазольних циклів. Характеристики сполук **5а-н** наведено в таблиці 1.

Спектри ЯМР¹H речовин були зареєстровані в розчині ДМСО-d₆ на приладі "Varian VXR-300", робоча частота – 300 МГц, внутрішній стандарт – ТМС. Контроль чистоти проводили за допомогою хромато-мас спектрометрії на приладі Agilent 1100 LC/MSD SL.

Загальна методика синтезу гідразидів 2-арил-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів 3а-л. До 0.2 моль карбонової кислоти **1а-л** дослідники додавали 200 мл бутанолу та толуенсульфохлорид (5% від маси кислоти) в якості каталізатора. Суміш кип'ятили у колбі з насадкою Діна-Старка до припинення утворення води (2–5 годин). Після охолодження реакційної суміші додавали 0.3 моль гідразингідрату (з концентрацією 65%), після чого її нагрівали до кипіння протягом 3 годин. Реакційну суміш залишали для охолодження до кімнатної температури, після чого осад, який утворювався, відфільтровували, промивали холодною водою та висушували за 60°C до постійної маси. Контроль чистоти проводили за допомогою хромато-мас спектрометрії, в подальшому застосовували без додаткового очищення. Виходи складали 85–100%.

Загальна методика ацилювання гідразидів 2-арил-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів хлорацетилхлоридом.

Характеристика 2-арил(гетерил)-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів

№ сполуки	Брутто-формула	Т. пл., знайдена / літ., °С	Дані ЯМР ¹ Н спек- троскопії, м. ч.	Дані елементного аналізу, %		Вихід*, %
				Знайдено	Розраховано	
5а	C ₉ H ₇ ClN ₂ O	118-120 / 119-121 [10]	4.80 с., 2H 7.5-7.6 м. 3H, 8.0-8.12 м. 2H	C 55,50 H 3,63 Cl 18,19 N 14,50	C 55,54 H 3,67 Cl 18,22 N 14,40	69
5б	C ₁₀ H ₉ ClN ₂ O	117-120 / 117-119 [10]	2.45 с., 3H 4.76 с., 2H 7.35 д, 2H, 7.95 д. 2H, J _{HH} = 8 Гц	C 59,28 H 4,90 Cl 15,85 N 12,59	C 59,33 H 4,98 Cl 15,92 N 12,58	71
5в	C ₁₀ H ₉ ClN ₂ O ₂	86-88 / 85-87 [10]	3.90 с., 3H 4.76 с., 2H 7.10 д, 2H, 7.96 д. 2H, J _{HH} = 8 Гц	C 53,48 H 4,08 Cl 15,70 N 12,49	C 53,47 H 4,04 Cl 15,78 N 12,47	67
5г	C ₉ H ₆ Cl ₂ N ₂ O	83-85 / 82-85 [10]	4.80 с., 2H 7.46 д, 2H, 7.98 д. 2H, J _{HH} = 8.8 Гц	C 47,48 H 2,28 Cl 30,50 N 12,29	C 47,19 H 2,64 Cl 30,95 N 12,23	73
5д	C ₉ H ₆ ClFN ₂ O	138-139 / 138-140 [10]	4.80 с., 2H 7.86 д, 2H, 8.48 д. 2H, J _{HH} = 9 Гц	C 50,95 H 2,91 Cl 16,76 F 8,99 N 13,21	C 50,84 H 2,84 Cl 16,67 F 8,94 N 13,18	68
5е	C ₉ H ₆ ClBrN ₂ O	105-108 [10]	4.78 с., 2H 7.46 д, 2H, 7.96 д. 2H, J _{HH} = 9.1 Гц	C 39,63 H 2,32 Cl 12,99 Br 29,32 N 10,28	C 39,53 H 2,21 Cl 12,96 Br 29,21 N 10,24	60
5є	C ₉ H ₆ ClN ₃ O ₃	130-132/ 133-135 [11]	4.82 с., 2H 8.36 д, 2H, 9.08 д. 2H, J _{HH} = 9.1 Гц	C 45,22 H 2,50 Cl 14,92 N 17,60	C 45,11 H 2,52 Cl 14,80 N 17,54	73
5ж	C ₉ H ₅ Cl ₃ N ₂ O	84-86 / 85-87 [10]	4.78 с., 2H 7.46 д, 2H, 7.96 д. 2H, J _{HH} = 9.1 Гц	C 41,15 H 1,96 Cl 40,45 N 10,61	C 41,02 H 1,91 Cl 40,36 N 10,63	70
5з	C ₉ H ₅ Cl ₃ N ₂ O	116-118	4.78 с., 2H 7.46 д, 2H, 7.96 д. 2H, J _{HH} = 9.1 Гц	C 41,10 H 1,98 Cl 40,42 N 10,64	C 41,02 H 1,91 Cl 40,36 N 10,63	65
5и	C ₉ H ₆ ClBrN ₂ O	104-106 / 104-107 [11]	4.78 с., 2H 7.46 д, 2H, 7.96 д. 2H, J _{HH} = 9.1 Гц	C 39,66 H 2,34 Cl 12,98 Br 29,41 N 10,26	C 39,53 H 2,21 Cl 12,96 Br 29,21 N 10,24	56
5к	C ₁₀ H ₉ ClN ₂ O ₂	84-86	4.78 с., 2H 7.46 д, 2H, 7.96 д. 2H, J _{HH} = 9.1 Гц	C 53,51 H 4,06 Cl 15,72 N 12,48	C 53,47 H 4,04 Cl 15,78 N 12,47	64
5л	C ₁₁ H ₁₁ ClN ₂ O	120-123/ 120-122 [11]	4.78 с., 2H 7.46 д, 2H, 7.96 д. 2H, J _{HH} = 9.1 Гц	C 59,39 H 4,96 Cl 15,98 N 12,57	C 59,33 H 4,98 Cl 15,92 N 12,58	60
5м	C ₇ H ₅ ClN ₂ O ₂	80-82 / 81-83 [11]	4.78 с., 2H 6.60 – 7.60 м. 3H	C 45,65 H 2,71 Cl 19,32 N 15,16	C 45,55 H 2,73 Cl 19,21 N 15,18	55
5н	C ₇ H ₅ ClN ₂ OS	78-80 / 77-79 [11]	4.78 с., 2H 7.40-7.60 м., 3H	C 41,96 H 2,53 Cl 17,75 N 13,99 S 15,95	C 41,90 H 2,51 Cl 17,67 N 13,96 S 15,98	68

* вихід у розрахунку на вихідну карбонову кислоту

До 0,2 моль гідразиду карбонової кислоти **3a-л** додавали 250 мл толуену, осушеного за допомогою P_2O_5 , за один прийом – 0,205 моль хлорацетилхлориду. Реакційну суміш нагрівали до кипіння, спостерігаючи виділення хлороводню. Нагрівання припиняли після закінчення виділення газу. Суміш охолоджували до кімнатної температури, осад, який утворився (речовини **4a-л**), відфільтровували, висушували за $60^\circ C$ до постійної маси. Виходи складали 75–98%.

Загальна методика синтезу 2-арил-5-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів 5a-л. До 0,15 моль сполук **4a-л**, одержаних на попередній стадії, додавали 0,3 моль $POCl_3$ та нагрівали до кипіння, спостерігаючи виділення хлороводню. Реакцію проводили при перемішуванні за допомогою магнітної мішалки. Після закінчення виділення газу (приблизно 1,5–2 години) реакційну суміш продовжували нагрівати ще 15–20 хвилин, потім охолоджували до кімнатної температури. Для виділення продукту реакційну суміш невеликими порціями виливали на 0,5 кг льоду при постійному перемішуванні та розтиранні грудок, які утворювалися. Якщо лід танув, додавали необхідну його кількість для того, щоб суміш увесь час залишалась холодною. Осад, який утворювався, відфільтровували та промивали холодною водою до нейтральної реакції, висушували у вакуум-ексикаторі над P_2O_5 . Одержували цільові речовини **5a-л** у

виділі порошків кольору від світло-коричневого до коричневого. Виходи складали від 70 до 95%.

Загальна методика синтезу 5-(2-фурил)-2-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів 5m-н. Метиллові естери одержують згідно загальноприйнятої процедури з відповідних карбонових кислот і метилового спирту. В подальшому до розчину метилового естеру в метанолі додають гідразин-гідрат, далі процедуру продовжують так, як це описано вище для сполук **4a-л**, **5a-л**.

Висновки. В результаті проведених досліджень авторами було розроблено зручний препаративний метод одержання 5-арил(гетерил)-2-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів, який ґрунтується на циклізації ацильованих хлорацетилхлоридом гідразидів відповідних карбонових кислот. Метод дозволяє синтезувати препаративні кількості цільових сполук із високими виходами та не потребує очистки проміжних речовин. Він придатний для одержання як широкого кола 1,3,4-оксадіазолів з ароматичними замісниками, так і для синтезу 5-тієніл- та 5-фурил-2-хлорметил-1,3,4-оксадіазолів. Будову всіх отриманих сполук підтверджено спектрами ЯМР¹H, а їх склад – елементним аналізом. Чистота одержаних продуктів за даними хромато-мас спектрометрії досягала 95%.

Результати проведених досліджень можуть бути застосовані у синтетичній практиці, а одержані сполуки є перспективними для їх подальшої хімічної модифікації з метою одержання біологічно активних похідних.

Список літератури:

1. Savarino A. A historical sketch of the discovery and development of HIV-1 integrase inhibitors. *Expert Opin Investig Drugs*. 2006. V. 15, P. 1507–1522.
2. James A.N.D., Growcott J.W. Zibotentan. *Drugs Future*. 2009. V. 34, P. 624–633.
3. Mohammed I., Kummetha I.R., Singh G., Sharova N., Lichinchi G., Dang J., Stevenson M., Rana T.M. 1,2,3-Triazoles as Amide Bioisosteres: Discovery of a New Class of Potent HIV-1 Vif Antagonists. *J. Med. Chem*. 2016. V. 59. P. 7677–7682.
4. Patel K.D., Prajapati S.M., Panchal N.S., Patel H.D. Review of Synthesis of 1,3,4-Oxadiazole Derivatives. *Synth. Commun*. 2014. V. 44. P. 1859–1875.
5. Boström J., Hogner A., Llinàs A., Wellner E., Plowright A.T. Oxadiazoles in medicinal chemistry. *J. Med. Chem*. 2012. V. 55, P. 1817–1830.
6. Kudelko A., Wróblowska M. An efficient synthesis of conjugated 5-aryl-1,3,4-oxadiazoles from 3-heteroarylacryloylhydrazides and acid chlorides. *Tetrahedron Letters*. 2014. V. 55, P. 3252–3254.
7. Młostoń G., Objalska, E.; Żurawik, A.; Heimgartner A. Efficient synthesis of tri- and difluoroacetyl hydrazides as useful building blocks for non-symmetrically substituted, fluoroalkylated 1,3,4-oxadiazoles. *Chem. Heterocyclic. Compd*. 2016. V. 52, P. 133–139.
8. Верещагин Л.И., Верхозина О.Н., Покатилов Ф.А., Кижняев В.Н. Синтез 2-замещенных 5-трифторметил-1,3,4-оксадиазолов. *Журн. органич. химии*. 2007. Т. 43. Вып. 10. С. 1577–1578.
9. Симурова Н.В., Майборода Е.И. Синтез моно- и дизамещенных 1,3,4-оксадиазолов. *Химия гетероцикл. соединений*. 2019. Т. 55(7). P. 604–607.
10. Leal J.G., Sauer A.C., Mayer J.C.P., Stefanello S.T., Gonçalves D.F., Soares F.A.A., A. Iglesias B.A., Back D.F., Oscar E. D. Rodrigues O.E.D., Dornelles L. Synthesis and electrochemical and antioxidant properties of chalcogenocyanateoxadiazole and 5-heteroarylchalcogenomethyl-1H-tetrazole derivatives. *New Journal of Chemistry*. 2017. V. 41. P. 5875–5873.
11. Research Chemicals Building Blocks. URL: <http://matrixscientific.com/>.

Simurova N.V., Popova I.V., Mayboroda O.I., Karmachov O.O. A CONVENIENT METHOD FOR THE PREPARATION OF 2-ARYL(HETERYL)-5-CHLOROMETHYL-1,3,4-OXADIASOLES

The 1,3,4-oxadiazole molecule is of considerable interest due to a wide range of biological and pharmacological activities and has been generally recognized as a privileged structure in drug chemistry. The development of convenient methods for the production of substituted 1,3,4-oxadiazoles is an important area of research. Particularly interesting are derivatives of 1,3,4-oxadiazoles containing of the reactive chloromethyl group, which allows their further chemical modification.

This paper is devoted to the development of a convenient preparative method of obtaining 2-aryl/heteryl-5-chloromethyl-1,3,4-oxadiazoles. A scheme is proposed in which aromatic and heterocyclic carboxylic acids are commercially available starting materials. The method is based on the preparation of carboxylic acid hydrazides, their subsequent acylation and cyclization of synthesized intermediates under the action of phosphorus trichloroxide (V).

The advantages of the method are the high yields of the targeted 1,3,4-oxadiazoles and the absence of the need to purify the intermediate compounds, which greatly simplifies the procedure, shortens the required time, saves the necessary reagents. The method is suitable for the preparation of both a wide range of 5-aryl-2-chloromethyl-1,3,4-oxadiazoles and some derivatives with heterocyclic substituents, in particular 5-thienyl (furyl)-2-chloromethyl-1,3,4-oxadiazoles.

The structure of all the compounds obtained was confirmed by ¹H NMR spectra and their composition by elemental analysis. The results of these studies can be applied in synthetic practice, and the obtained compounds containing the reactive chloromethyl group are promising building blocks for their further chemical modification in order to obtain biologically active derivatives, which may find use as drugs, insecticides.

Key words: synthesis, cyclization, hydrazide, chloroacetyl chloride, 1,3,4-oxadiazole, phosphoryl chloride.

Сьомкіна О.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Токайчук Т.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Пилипенко О.І.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

АНОДНІ ПРОЦЕСИ НА СПЛАВІ Ti6Al4V В СИСТЕМІ «(CH₂)₂(OH)₂-H₂O-NH₄F»

Представлені результати поляризаційного дослідження процесів анодного окислення сплаву Ti6Al4V у електролітах на основі етиленгліколю, води і фториду амонію. Отримані поляризаційні залежності дозволяють зробити висновок щодо визначального впливу складу робочого розчину на поведінку сплаву в умовах анодної поляризації. Так, величини густин анодного струму в дослідженому діапазоні потенціалів визначаються концентрацією фториду амонію і зростають при підвищенні $c(\text{NH}_4\text{F})$. Анодна поляризація сплаву за $c(\text{NH}_4\text{F}) = 0,5\text{--}2,5 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ приводить до формування оксидних плівок бар'єрного типу з малою швидкістю розчинення у електроліті, що обумовлює пологий хід кривих із незначним зростанням густини струму у всьому діапазоні потенціалів. Швидкість електрохімічного окислення сплаву суттєво зростає при підвищенні $c(\text{NH}_4\text{F})$ до $5\text{--}10 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$, що пояснюється ростом швидкості хімічного розчинення оксиду в електроліті. Поляризаційні залежності, отримані в цих умовах, вказують на формування двошарової структури оксидної плівки з бар'єрною і пористою частинами.

Швидкість електрохімічного окислення сплаву в електроліті на основі етиленгліколю лімітується уповільненим протіканням дифузійних процесів відводу продуктів анодного розчинення сплаву. Форма поляризаційної залежності, отримана за $v_p = 1 \text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$ відповідає типовій пасиваційній кривій титану. За $v_p \geq 10 \text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$ поляризаційні залежності характеризуються появою ділянок дифузійного струму електрохімічного розчинення металу з уповільненим відводом продуктів анодного окиснення від поверхні електрода в об'єм електроліту.

Отримані результати можна використати при розробці режимів електрохімічного окислення сплаву Ti6Al4V з метою одержання функціональних оксидних плівок бар'єрного типу та оксидних плівок двошарової структури з регулярною пористістю.

Ключові слова: анодна поляризація, електрохімічне окислення, оксидна плівка, фторид-іони, активація, дифузійний контроль, пасивація.

Постановка проблеми. Титановий сплав марки Ti6Al4V використовується для виготовлення елементів конструкцій, вузлів і відповідальних деталей, які поєднують високу питому міцність зі значною корозійною стійкістю. Остання забезпечується утворенням надтонкої поверхневої оксидної плівки товщиною 5–9 нм, яка утворюється при контакті поверхні титану з киснем і обумовлює пасивацію сплаву при експлуатації у більшості середовищ. Порушення суцільності пасивної плівки внаслідок наявності у робочому середовищі іонів-активаторів або постійного механічного стирання може призвести до катастрофічно швидкого руйнування металу. Одним зі способів підвищення корозійної стійкості є поверхнева модифікація сплаву, яка полягає в електрохімічному одержанні більш товстих

оксидних шарів. При цьому товщина утворених плівок у десятки і сотні разів більша природних, що повинно сприяти більш глибокій пасивації сплаву і зменшенню швидкості його корозійного руйнування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Електрохімічне окислення титанових матеріалів полягає в анодній поляризації зразка у розчині відповідного електроліту. Накладання анодної поляризації в такому випадку аналогічне дії сильного хімічного окисника і полягає в іонізації титану з утворенням іонів Ti^{4+} , необхідних для формування оксидної плівки. Структура і товщина оксидної плівки, сформованої при електрохімічному окисненні, визначається в основному природою електроліту [1]. У випадку, якщо компоненти електроліту не взаємодіють із плівкою,

утворюється оксидний шар бар'єрного типу, який відповідає діоксиду титану модифікації рутил.

Товщина такого шару залежить лише від кінцевого значення напруги на комірниці [2–5], тобто в усіх типах електролітів зі слабкою травлячою здатністю приводить до формування інтерференційно-забарвлених плівок однакового забарвлення. Введення в електроліт іонів-активаторів, наприклад фторид-іонів, обумовлює формування пористих оксидних плівок, однак характер їх дії залежить від природи електроліту [6]. У водних фторидвмісних електролітах відбувається сильне розтравлення оксидної плівки, і її структура характеризується нерівномірністю з чергуванням зон локального розчинення і суцільності плівки [7]. У органічних електролітах із додаванням невеликої кількості води можна одержати пористі плівки які характеризуються впорядкованою структурою з регулярним розташуванням пор визначеного діаметру [8].

Постановка завдання. *Мета роботи* – дослідження електродних процесів на робочому електроді зі сплаву Ti6Al4V в умовах анодної поляризації в електролітах на основі етиленгліколю.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Методика. Дослідження проводили, використовуючи в якості робочих електродів зразки титанового сплаву, виготовлені зі стрижню діаметром 4 мм. Зразки шліфували на наждаковому крузі, знежирювали водною суспензією карбонату натрію і травили у суміші нітратної і фторидної кислот, взятих при об'ємному співвідношенні 3:1. Протравлені зразки спочатку промивали водопровідною водою, потім дистилатом і просушували.

Поляризаційні вимірювання проводили на потенціостаті MТech PGP-550M, використовуючи в якості комірки ємність об'ємом 100 мл, виготовлену з поліпропілену. Допоміжним електродом слугувала титанова пластина. Потенціали вимірювали відносно насиченого хлоридсрібного електрода ЭВЛ-1М1.

Розчини для попередньої підготовки зразків готували, використовуючи кислоти кваліфікації «х.ч.». Приготування електролітів для поляризаційних вимірювань проводили шляхом розчинення наважки фториду амонію кваліфікації «о.с.ч.» у визначеному об'ємі дистильованої води з наступним змішуванням одержаного розчину з необхідною кількістю етиленгліколю кваліфікації «ч.д.а.».

Результати досліджень. Поляризаційні залежності, наведені на рис. 1, дозволяють зробити висновок, що визначальний вплив на анодну

поведінку сплаву Ti6Al4V в умовах анодної поляризації має значення концентрації іонів фтору у розчині електроліту. Криві, одержані при значеннях $c(\text{NH}_4\text{F}) = 0,5\text{--}2 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$, характеризуються пологою формою з великим кутом нахилу (рис. 1, криві 1–3). Незначна величина густин струму, яка реалізується в системі, є наслідком незначної концентрації фторид-іонів, наявність яких необхідна для розчинення сформованої оксидної плівки. Утворення оксидної плівки на поверхні сплаву при анодній поляризації сплаву за цих умов обумовлює пасивацію металу, що гальмує ріст величини іонного струму при розгортці потенціалу у бік позитивних значень [9; 10].

Глибоку пасивацію титану обумовлює формування вже надтонких (10–20 нм) оксидних плівок, що стає зрозумілим, якщо взяти до уваги значення питомого електричного опору TiO_2 ($\rho = 10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{см}$) навіть за умов наявності деякої кількості дефектів, гідратації і впровадження компонентів електроліту до її складу. Фторид амонію не тільки забезпечує електропровідність розчину, але й обумовлює формування пористої структури оксидної плівки.

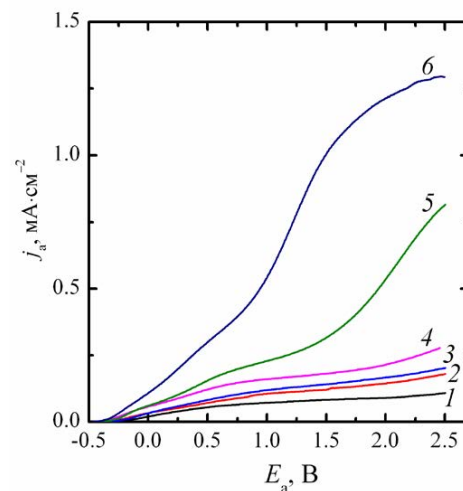


Рис. 1. Анодні поляризаційні залежності, одержані на сплаві Ti6Al4V в розчині 95 об. % $(\text{CH}_3)_2(\text{OH})_2$ + 5 об. % H_2O за швидкості розгортки потенціалу $10 \text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$. $c(\text{NH}_4\text{F})$, $\text{г}\cdot\text{дм}^{-3}$: 0,5(1); 1,0(2); 2,0(3); 2,5(4); 5,0(5); 10,0(6)

Активуюча дія фторид-іонів полягає у їх адсорбції, порушенні суцільності пасивної оксидної плівки і хімічній взаємодії з титаном із утворенням гексафтортитанової кислоти. Однак за $c(\text{NH}_4\text{F}) = 0,5\text{--}2 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ введеної кількості солі недостатньо для забезпечення швидкого розчинення плівки, і швидкість її формування є вищою за швидкість розчинення. Слід зазначити, що введення фториду амонію навіть у таких кількостях

здійснює активуючу дію на сплав, на що вказують від'ємні значення стаціонарних потенціалів зразків $E_{ст}$ на рівні приблизно $-0,48$ В, в той час як для титану у розчинах, які не містять активаторів, потенціал зміщений у область позитивних значень до величин близько $+(0,2-0,4)$ В.

Підвищення $c(\text{NH}_4\text{F})$ у розчині до $5 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ і вище обумовлює зміну форми поляризаційних залежностей, яка проявляється у вигляді зростання струму за цих значень електродної поляризації та зміни ходу кривих. Особливо помітним вплив фториду амонію стає при вмісті 5 і $10 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$. Анодні залежності набувають характеру, який дозволяє виокремити на них окремі ділянки, що відповідають областям формування оксидної плівки бар'єрного типу (в області потенціалів до $1,25$ В) та початку формування плівки двошарової структури, яка складається з тонкого оксидного шару бар'єрного типу і більш товстого пористого шару. Підвищення вмісту фториду амонію закономірно призводить до зростання величини струму в системі внаслідок збільшення швидкості розчинення оксиду електролітом і викликаного цим процесом погіршення пасивуючих властивостей плівки.

Очевидно, що лімітуючою стадією процесу анодного окислення сплаву є дифузійний контроль, який полягає в існуванні граничної швидкості

дифузії фторид-іонів до поверхні аноду або уповільненому відводі продуктів хімічної взаємодії цих іонів з оксидною плівкою. Підтвердженням цього припущення є поляризаційні залежності, одержані в умовах різних значень швидкості розгортки потенціалу v_p у розчині з $c(\text{NH}_4\text{F}) = 10 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ (рис. 2).

Як видно з наведених залежностей, підвищення швидкості розгортки потенціалу обумовлює збільшення густини струму в області потенціалів, які відповідають формуванню двошарової оксидної плівки при $E_a = 1,5-2,5$ В. Цей ріст обумовлюється зменшенням товщини дифузійного шару при зростанні v_p і цілком знаходиться в межах теорії дифузійної перенапруги електродних процесів. Іншим спостереженням є вплив v_p на форму поляризаційних залежностей. Поляризаційна залежність, одержана за $v_p = 1 \text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$ (рис. 2, залежність 1), має форму, типову для металів, схильних до пасивації при накладанні анодної поляризації. При $v_p = 10 \text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$ і вище (рис. 2, залежності 2 і 3) залежності набувають форми, типової для випадку електрохімічного розчинення металу з дифузійним контролем, швидкість якого обмежена відводом продуктів окиснення від поверхні електрода. Одержані поляризаційні залежності сплаву дозволяють зробити висновок щодо можливості формування оксидних плівок бар'єрного типу і двошарових пористих плівок шляхом зміни складу електроліту на основі етиленгліколю.

Висновки. Досліджена анодна поведінка титанового сплаву Ti6Al4V у розчинах етиленгліколю з додаванням води і фториду амонію. Показано, що визначальний вплив на вид поляризаційних залежностей, які характеризують електродні процеси на сплаві при анодній поляризації, має склад розчину: за $c(\text{NH}_4\text{F}) = 0,5-2,5 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ криві характеризуються пологим ходом із незначним зростанням густини струму у всьому діапазоні потенціалів при зростанні концентрації фторид-іонів.

Підвищення концентрації $c(\text{NH}_4\text{F})$ до $5-10 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ обумовлює різке підвищення анодних густин струму і змінює форму кривих, що пояснюється зростанням швидкості розчинення оксидної плівки в електроліті і обумовленою цим зміною структури оксидної плівки. Поляризаційні залежності, одержані в умовах зміни швидкості розгортки потенціалу, вказують на дифузійний контроль процесу анодного окислення сплаву.

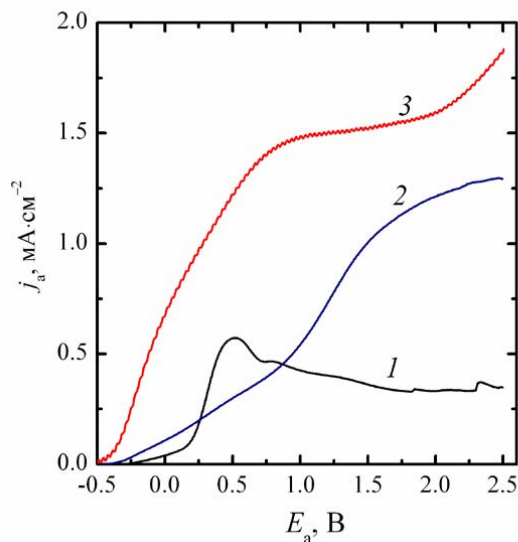


Рис. 2. Анодні поляризаційні залежності, одержані на сплаві Ti6Al4V в розчині $95 \text{ об. \% } (\text{CH}_2\text{OH})_2 + 5 \text{ об. \% } \text{H}_2\text{O} + 10 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3} \text{NH}_4\text{F}$. v_p , $\text{мВ}\cdot\text{с}^{-1}$: 1(1); 10(2); 100(3)

Список літератури:

1. Louarn G., Salou L., Hoornaert A., Layrolle P. Nanostructured surface coatings for titanium alloy implants. *Journal of materials research*. 2019. Vol. 34. P. 1892–1899.
2. Анікєєва П.С., Пилипенко О.І. Вплив режиму електролізу на динаміку окислення титанового сплаву Ti6Al4V у розчинах фосфатної кислоти. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30. С. 42–48.
3. Бухінік О.О., Пилипенко О.І. Дослідження ізолюючих властивостей оксидних плівок, одержаних на сплаві Ti6Al4V у цитратних електролітах, методом електрохімічного осадження міді. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30. С. 35–41.
4. Pilipenko A., Pancheva H., Deineka V., Vorozhbiyan R., Chyrkina M. Formation of oxide films on VT6 alloy in the conditions of anodical polarization in solutions H₂SO₄. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3. P. 33–38.
5. Ivashchenko M., Smirnova O., Kyselova S., Avina S., Sincheskul A., Pilipenko A. Establishing the patterns in the formation of films on the alloy Ti6Al4V in carbonic acid solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5. P. 21–26.
6. Андрущенко О.О., Пилипенко О.І. Електрохімічне формування тонких інтерференційно-забарвлених оксидних плівок на сплаві Ti6Al4V в сульфатному електроліті. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ», Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*. 2019. № 1. С. 36–40.
7. Marques I.d.S.V., Barão V.A.R., Cristino da Cruz N., Yuan J.C.-C., Mesquita M.F., Ricomini-Filho A.P., Sukotjo C., Mathew M.T. Electrochemical behavior of bioactive coatings on cp-Ti surface for dental application. *Corrosion Science*. 2015. Vol. 1. P. 133–146.
8. Gugelmin B.S., Santos L.S., Ponte H.d.A., Marino C.E.B. Electrochemical stability and bioactivity evaluation of Ti6Al4V surface coated with thin oxide by EIS for biomedical applications. *Materials Research*. 2015. vol. 18. P. 602–607.
9. Pilipenko A., Pancheva H., Reznichenko G., Mirgorod O., Miroshnichenko N., Sincheskul A. The study of inhibiting structural material corrosion in water recycling systems by sodium hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2. P. 21–28.
10. Pancheva H., Reznichenko G., Miroshnichenko N., Sincheskul A., Pilipenko A., Loboichenko V. Study into the influence of concentration of ions of chlorine and temperature of circulated water on the corrosion carbon steel and cast iron. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4. P. 59–64.

Semkina O.V., Tokaichuk T.M., Pilipenko O.I. ANODE PROCESSES ON THE Ti6Al4V ALLOY IN THE SYSTEM “(CH₂)₂(OH)₂-H₂O-NH₄F”

The results of a polarization study of the anodic oxidation of the Ti6Al4V alloy in electrolytes based on ethylene glycol, water, and ammonium fluoride are presented. The obtained polarization dependences allow us to conclude that the composition of the working solution determines the behavior of the alloy under conditions of anodic polarization. In particular, the values of the anode current densities in the studied potential range are determined by the concentration of ammonium fluoride and increase with increasing $c(\text{NH}_4\text{F})$.

Anodic polarization of the alloy at $c(\text{NH}_4\text{F}) = 0.5\text{--}2.5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-3}$ leads to the formation of barrier type oxide films with a low dissolution rate in the electrolyte, which leads to a gentle curve with a slight increase in current densities over the entire potential range. The rate of electrochemical oxidation of the alloy increases significantly with increasing $c(\text{NH}_4\text{F})$ to $5\text{--}10 \text{ g}\cdot\text{l}^{-3}$, which is explained by an increase in the rate of chemical dissolution of oxide in the electrolyte. The polarization dependences obtained under these conditions indicate the formation of a two-layer structure of the oxide film with the barrier and porous parts. The rate of electrochemical oxidation of an alloy in an ethylene glycol-based electrolyte is limited by the slowed down diffusion processes of the removal of anode dissolution products to the alloy.

The shape of the polarization dependence obtained at $v_p = 1 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ corresponds to a typical passivation curve of titanium. At $v_p \geq 10 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$, the polarization dependences are characterized by the appearance of sections of the diffusion current of the electrochemical dissolution of the metal with a delayed removal of anodic oxidation products from the electrode surface into the electrolyte volume. The obtained results can be used in the development of electrochemical oxidation modes of the Ti6Al4V alloy in order to obtain functional oxide films of the barrier type and oxide films of a two-layer structure with regular porosity.

Key words: anodic polarization, electrochemical oxidation, oxide film, fluoride ions, activation, diffusion control, passivation.

Штефан В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Булгакова А.С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Пойманов А.Д.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Лещенко С.А.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ПЕРСПЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У наш час актуальним є напрям електрохімії – одержання багатокомпонентних осадів методом електроосадження. До таких осадів відносять не тільки бінарні, тернарні сплави або сплави, удосконалені лігандами, але й композиційні покриття. Насамперед композиційні матеріали є ефективними у використанні в багатьох сферах діяльності зв'язку із широким спектром функціональних властивостей: хімічна стійкість, висока міцність, електрокаталітична активність, стійкість до зношування. Також такі покриття можуть використовуватися для підвищення температурної та механічної витривалості відповідальних деталей машин, які працюють в агресивних середовищах, при виробництві електричних контактів і захисту деталей від корозії.

У роботі наведені результати дослідів перспективних електродних матеріалів для паливних елементів на основі композиційного покриття Co-Mo-TiO_2 , саме вивчення каталітичної активності композиційного осаду для реакції виділення водню в різних середовищах. Гальванічні осади були одержані на мідних зразках з удосконаленого аміачно-трилонатного електроліту, модифікованого порошком діоксиду титана за різних густин струму $10\text{--}30\text{ А/дм}^2$ при постійному перемішуванні та температури 70° С . Представлений варіант вирішення проблеми, пов'язаної із корозійною нестійкістю бінарного сплаву Co-Mo в кислих середовищах. Наведені результати, отримані методом поляризаційних залежностей у таких розчинах: гідроксид натрію, сульфат натрію, сірчана кислота із концентрацією $0,1\text{ моль/л}$ і гідроксид натрію із концентрацією 1 моль/л .

Композиційне покриття Co-Mo-TiO_2 володіє значною корозійною стійкістю та каталітичною активністю, що робить такий осад перспективним матеріалом для застосування у сфері паливних елементів. Композиція Co-Mo-TiO_2 є досить ефективним каталізатором для реакції виділення водню.

Ключові слова: композиційне покриття, кобальт, молібден, діоксид титану, каталітична активність.

Постановка проблеми. Одержання осадів необхідного складу, структури і відповідних властивостей відіграє значну роль для сучасної техніки та технології. Розвиток нових напрямів застосування покриттів на основі тугоплавких металів пов'язаний із тим, що електролітичне осадження багатокомпонентних осадів дозволяє отримати абсолютно нові поліпшені властивості для матеріалів [1–4]. Гальванічні покриття Co-Mo [4–9] і композиційні Co-Mo-TiO_2 є перспективними матеріалами для використання в багатьох сферах промисловості. Вони мають більш високі антикорозійні властивості, твер-

дість, зносо- і жаростійкість, володіють магнітною проникністю, каталітичною активністю, надпровідністю, пайкою, пружністю [10–16]. Для значного зниження рівня залишкових напружень додають TiO_2 . Захисні плівки, утворені з вмістом TiO_2 мають технологічні маркери (термостійкість, суцільність, однорідність по товщині і складу, адгезія) і експлуатаційні, необхідні для забезпечення функціональних специфічних властивостей одержаних осадів. Також завдяки вмісту діоксиду титану зростає корозійна стійкість у композиційного покриття Co-Mo-TiO_2 [17].

Застосування тугоплавких металів спрямоване на максимально ефективне використання їх природних властивостей. Висока корозійна стійкість і каталітична активність композиції Co-Mo-TiO₂ роблять такі осади корисними навіть для застосування у сфері паливних елементів. адже покриття Co-Mo-TiO₂ є досить результативним каталізатором, який прискорює електрохімічні реакції, що забезпечують ефективне виділення водню.

Методика експерименту. Для осадження композиційних покриттів Co-Mo-TiO₂ використовували зразки, виготовлені з міді, площа яких складає 2 см². Електроди піддавали попередній обробці, технологічний процес якої передбачає послідовне проведення ряду операцій: механічна очистка від технологічних забруднень і продуктів корозії за допомогою наждачного паперу; промивка в проточній і дистильованій воді; сушка. Травлення проводили в розчині азотної та сульфатної кислот із подальшим промиванням зразків.

Під час проведення досліджень використовували електрохімічну комірку. Для варіювання інтенсивності перемішування розчинів і забезпечення їх сталої температури використовували магнітну мішалку марки ММ-5 і джерело постійного струму Б5-44 [18]. Зразки після травлення завішували до електрохімічної комірки з аміачно-трилонатним електролітом [19] та анодом – пла-

тиноюю сіткою. Температура електроліту підтримувалася в межах 70° С, осадження проводились при постійному перемішуванні. Покриття одержували при густині струму 10; 20; 30 А/дм² і рН 5. Для підтримання рН додавали H₂SO₄ та NaOH. Після завершення осадження катоди промивали дистильованою водою та сушили на повітрі.

Електрокаталітичні властивості електродних матеріалів оцінювали за допомогою поляризаційних залежностей виділення водню, отриманих у розчинах 1М NaOH, 0,1 М NaOH, 0,1М H₂SO₄ і 0,1 М Na₂SO₄. Швидкість розгортки потенціалу – 3 мВ/с. Для проведення експериментів використовували трьохелектродну комірку з хлорсрібним електродом у тому ж розчині. В якості допоміжного електрода використовували платиновий дріт.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою порівняння каталітичної активності одержаного осаду Co-Mo-TiO₂ з різною густиною струму були одержані катодні поляризаційні залежності виділення водню у розчинах 1М NaOH, 0,1М NaOH, 0,1М H₂SO₄ та 0,1М Na₂SO₄.

На рисунку 1 наведенні одержані потенціодинамічні катодні поляризаційні залежності густини струму від перенапруги у реакції виділення водню в різних середовищах на композиційному осаді Co-Mo-TiO₂ із різною густиною струму осадження.

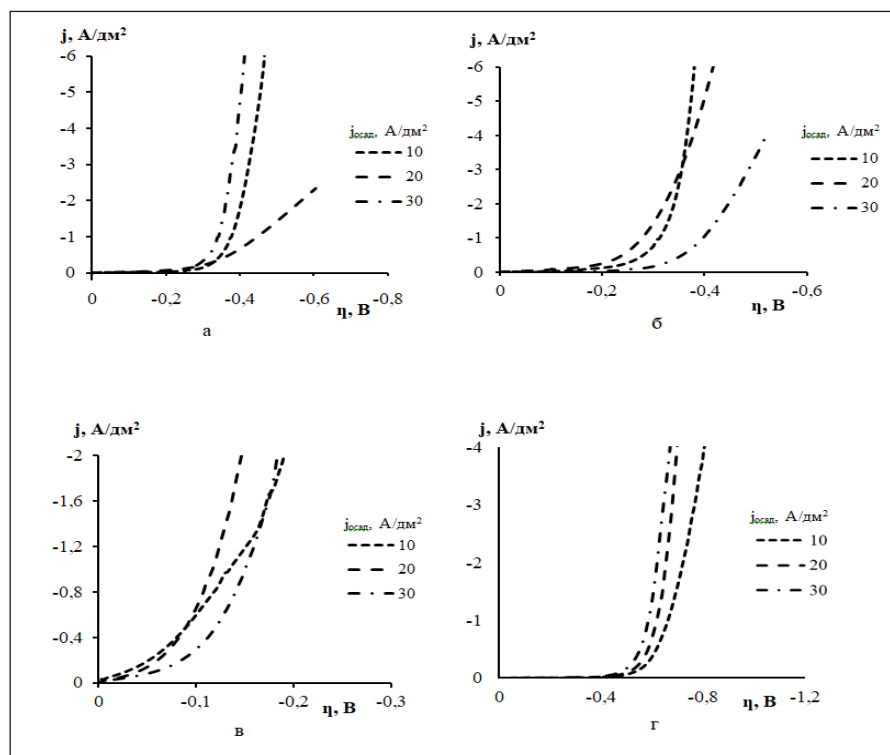


Рис. 1. Залежність густини струму від перенапруги виділення водню на осаді Co-Mo-TiO₂: а) 0,1М NaOH; б) 1М NaOH; в) 0,1М H₂SO₄; г) 0,1М Na₂SO₄

Проведена оцінка каталітичної активності покриттів у водневій реакції виділення водню за значенням перенапруги при $j = 1 \text{ А/дм}^2$. У лужному розчині композиційне покриття Co-Mo-TiO₂ осаджене при 20 А/дм² має найменше значення перенапруги 0,274 В, що вказує на найвищу каталітичну активність. Зменшення концентрації розчину NaOH з 1 до 0,1 моль/л призводить до збільшення перенапруги. У сульфатних розчинах каталітична активність одержаного осаду інша, ніж у 0,1 та 1 моль/л розчинах NaOH. У розчині H₂SO₄ значення перенапруги мають показники порядку 0,114–0,144 В, що свідчить про високу каталітичну активність композиції. У розчині Na₂SO₄ перенапруга висока, тобто каталітична активність покриття гірша, ніж для попередніх розчинів.

Спираючись на результати, отримані авторами у попередніх роботах, у яких досліджувалася каталітична активність покриття Co-Mo в таких само розчинах 0,1М NaOH; 1М NaOH; 0,1М H₂SO₄; 0,1М Na₂SO₄. Можна стверджувати, що для розчинів NaOH доцільно використовувати композиційне покриття Co-Mo-TiO₂, тому що їх каталітична активність вища, ніж у сплаву Co-Mo, про свідчить значення перенапруги.

Висновки. Аналіз отриманих даних дає змогу оцінити каталітичну активності композиційного покриття Co-Mo-TiO₂ у розчинах 0,1М NaOH; 1М NaOH; 0,1М H₂SO₄; 0,1М Na₂SO₄. Композиція має більш високу каталітичну активність, ніж сплав Co-Mo для розчинів NaOH. Для розчинів H₂SO₄ одержаний осад Co-Mo-TiO₂ має найменше значення перенапруги, внаслідок чого можна рекомендувати композиційне покриття як матеріал для паливних елементів.

Список літератури:

1. Subramania A., Sathiyapriya A.R., Muralidharan V.S. Electrocatalytic cobalt-molybdenum alloy deposits. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2007. V. 32. P. 2843–2847.
2. Соколов А.Ю., Курбатов А.П., Уразалин А.К., Брайда В.Дж., Наурызбаев М.К. Получение кобальт-молибденовых сплавов из цитратного электролита. *Горение и плазмохимия*. 2008. Т. 6, № 4. С. 298–305.
3. Кузнецов В.В., Бондаренко З.В., Пшеничкина Т.В., Морозова Н.В., Кудрявцев В.Н. Электроосаждение сплава Co-Mo из аммиачно-цитратного электролита. *Электрохимия*. 2007. № 43, Вып. 3. С. 367–372.
4. Громова В.А., Японцева Ю.С., Кублановский В.С., Дикусар А.И. Электроосаждение сплавов Co-Mo из цитратно-пирофосфатного электролита. *УКР. ХИМ. ЖУРН.* 2008. Т. 74, № 3. С. 44–48.
5. Shtefan V.V., Epifanova A.S., Koval'ova A.A., Bairachnyi B.I. Electrolytic Deposition of Highly Hard Coatings of a Cobalt-Molybdenum Alloy. *MaterSci*. 2017. V. 52. P. 1–8.
6. Gomez E., Pellicer E., Duch M., etc. Molybdenum Alloy Electrodeposits for Magnetic Actuation. *Electrochim. Acta*. 2006. V. 51. P. 3214–3222.
7. Coutsouradis D., Davin A., Lamberigts M. Cobalt-based superalloys for applications in gas turbines. *Mater. Sci. Eng.* 1987. V. 88. P. 11–19.
8. Yarpontseva Yu.S., Kublanovsky V.S., Vyshnevskiy O.A. Electrodeposition of CoMoRe alloys from a citrate electrolyte. *Journal of Alloys and Compounds*. 2018. V. 766. P. 894–901.
9. Японцева Ю.С., Дикусар А.И., Кублановский В.С. Исследование состава, коррозионных и каталитических свойств сплавов Co-W, электроосажденных из цитратно-пирофосфатного электролита. *Электронная обработка материалов*. 2014. Т. 50, № 4. С. 49–55.
10. Громова В.А., Японцева Ю.С., Кублановский В.С. Сплавы Co-Mo, электроосажденные из полилигандного электролита. *Тези доп. II Всеукр. наук.-практ. конф. молодихвчених*. Київ, 2007. С. 88.
11. Kublanovsky V.S., Yarpontseva Yu.S. Electrocatalytic Properties of Co-Mo Alloys Electrodeposited from a Citrate-Pyrophosphate Electrolyte. *Electrocatalysis*. 2014. V. 5. P. 372–378.
12. Штефан В.В., Єпіфанова А.С., Кобзєв М.М., Метенканич М.М. Вольтамперометрія осадження сплаву Co-Mo. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Хімічна технологія та екологія. 2017. № 39. С. 80–83.
13. Shtefan V., Yepifanova A., Berezovskyi I., Shkolnikova T. Study of morphology and microhardness of Co-Mo alloys films. *XVI International conference on physics and technology of thin films and nanosystems: materials ICPTTFN-XVI*. (Ivano-Frankivsk, 15–20 may 2017 yr.). Ivano-Frankivsk, 2017. P. 204.
14. Штефан В.В., Єпіфанова А.С., Мануйлов А.М., Кучма Ю.Ю., Канунникова Н.А. Вольтамперометрія d⁴ – d¹⁰ металлов. *Международная научно-техническая конференция «Современные электрохимические технологии и оборудование»*: материалы докладов Международной научно-технической конференции «Современные электрохимические технологии и оборудование». (Минск, 24–25 ноября 2016 г.). Минск, 2016. С. 335.
15. Штефан В.В., Єпіфанова А.С., Метенканич М.М., Пойманов А.Д., Школьнікова Т.В. Механізм катодних реакцій осадження сплаву Co-Mo. *Записки Таверійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Сер.: Технічні науки*. 2019. Т. 30(69), № 1, ч. 2. С. 51–56.

16. Shtefan V.V., Smyrnov O.O., Bezhenko A.O., Epifanova A.S., Kanunnikova N.O., Metenkanych M.M., Knyazev S.A. Electrolytic Deposition of Corrosion of Cobalt-Molybdenum Alloys in Chloride Solutions. *MaterSci*. 2019. V. 54.4. P. 512–518.

17. Штефан В.В., Єпіфанова А.С., Метенканич М.М., Школьнікова Т.В., Школьнікова Т.В. Структурно-фазовий склад композиційного сплаву Co-Mo-TiO₂. *Записки Таврійського національного університету ім. В.І Вернадського. Сер.: Технічні науки*. 2019. Т. 30(69), № 2, ч. 2. С. 131–135.

18. Єпіфанова А.С., Штефан В.В. Електролітичне осадження сплаву кобальт-молібден. *10 Міжнародна науково-практична студентська конференція магістрантів : матеріали конференції*. (Харків, 05–08 квітня 2016 р.): у 3 ч. ч. 2. Харків : НТУ «ХПІ», 2016. С. 223.

19. Електроліт для нанесення покриття кобальт-молібдену: пат. 112925 Україна: МПК (2006.01) C25D 3/56, № а201307706; заяв. 20.04.2015; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.

Shtefan V.V., Bulhakova A.S., Poimanov A.D., Leshchenko S.A.

PROSPECTIVE ELECTRICAL MATERIALS FOR FUEL ELEMENTS

Nowadays, the direction of electrochemistry – receiving multicomponent precipitates by electrodeposition method has an actual character. Such sediments include not only binary, ternary alloys or alloys enhanced with ligands, but also composite coatings. First of all, composite materials are effective in many fields of activity due to their wide range of functional properties. Such as chemical resistance, high strength, electrocatalytic activity, wear resistance. Such coatings can also be used to increase the temperature and mechanical endurance of critical machine parts operating in harsh environments and in the manufacture of electrical contacts and protection of parts against corrosion.

This paper presents the results of experiments of promising electrode materials for fuel cells based on the composite Co-Mo-TiO₂ coating. Namely, the study of the catalytic activity of the composite precipitate for the reaction of hydrogen evolution in different media. Electroplating sediments were obtained on copper samples from an improved ammonia-trilonate electrolyte modified with titanium dioxide powder at different current densities of 10-30 A/dm² with constant stirring and a temperature of 70°C. A solution to the problem of corrosion instability of the Co-Mo binary alloy in acidic environments is presented. The results obtained by the method of polarization dependencies in the following solutions are presented: sodium hydroxide, sodium sulfate, sulfuric acid with a concentration of 0,1 mol/l and sodium hydroxide with a concentration of 1 mol/l.

The Co-Mo-TiO₂ composite coating has considerable corrosion resistance and catalytic activity, which in turn makes this sediment a promising material for use in the fuel cell field. The Co-Mo-TiO₂ composition is a fairly effective catalyst for the hydrogen evolution reaction.

Key words: composite coating, cobalt, molybdenum, titanium dioxide, catalytic activity.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

UDK 665.044.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/18>

Bakmach V.O.

National University of Food Technologies

Vovkodav O.V.

National University of Food Technologies

Vovkodav N.I.

National University of Food Technologies

RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER SOLUTIONS OF GUAR GUM

Rheological characteristics of water solutions of guar gum are studied. Mayonnaise is an oil-in-water type emulsion consisting of vegetable oil (50-85%), egg yolk (5-10%), vinegar, salt and seasonings. The emulsion is stabilized by egg yolk phospholipids. Products with a lower content of oil (<50%) may contain thickening agents such as starch, pectin, agar-agar, carboxymethylcellulose, milk proteins.

Wide possibilities for using guar gum exist in the mayonnaise technology. Stability at low pH values and low salt content, high viscosity solutions at low shear rate and pseudoplastic characteristics make attractive using systems for stabilization. Because of pseudoplastic characteristics, that are inherent to guar gum, the solutions have fluidity and at the same time stay on salads. Low concentrations of guar gum provide high viscosity of sauces at acidic and neutral pH values. Viscosity of solutions is also stable to temperature changes and withstands different long-term storage conditions. Guar gum may be used for partial replacement of starch, stability improvement and adding a feeling of fullness in the mouth. It is established that growth of concentration of guar gum in an aqueous solution causes gradual increase of the flow index. It should also be mentioned that flow index values are lower than one for all the concentrations, it is typical for pseudoplastic solutions.

Results of researches show that guar gum aqueous solutions in a wide range of concentrations refer to Non-Newtonian fluids. It is also defined that the dependence of the stress of the almost destroyed system of guar gum aqueous solutions has a similar shape with the dependence for xanthan gum. Also they have similar absolute values of stresses.

When values of the shear stress exceed values of the stress of the almost destroyed system, it is characterized by the lowest values of viscosity. Rheological properties of guar gum aqueous solutions are important for understanding the processes of structure formation that occur. The results obtained may be used in modeling stabilization systems for production of low-fat mayonnaises and sauces.

Key words: *stabilization, guar gum, galactomannan, rheological properties, viscosity, structure.*

Problem statement. For solving the problem of stability of low- and medium-calorie mayonnaises, and sauces, and also for removing from the recipes components that contain cholesterol, different nutritional supplements are widely used. At the same time, in spite of the large quantity of already developed foreign supplements, their composition is still unknown for domestic manufacturers of mayonnaise products. Therefore, studies of available and safe vegetable supplements for mayonnaise will allow us to create high quality mayonnaise products and to increase competitiveness of domestic food industry. Thus,

research of the rheological properties of solutions of guar gum is an urgent task, solving of which will help in developing of modern high-technological stabilizing systems for mayonnaise production.

Analysis of recent research. Hydrocolloids, actions of which are explained by the formation of three-dimensional mesh structure and are accompanied by increasing of the aqueous phase viscosity, are the most effective for structure formation and stabilization of oil-in-water type emulsions. By chemical structure most hydrocolloids are polysaccharides that, depending on the structural composition, are divided

into homopolysaccharides (homoglycans), which are constructed of the same kind of monosaccharide, and heteropolysaccharides (heteroglycans), which consist of different monosaccharides [1].

Nowadays among herbal supplements for improving mayonnaise structure became very popular gum, especially guar gum, xanthan gum and carob gum [2; 3]. By chemical structure xanthan, guar and carob gums belong to a class of neutral polysaccharides. Chemically supplements of this group are polymeric compounds (mostly of polysaccharide nature), macromolecules of which have uniform distribution of hydrophilic groups [4].

Size and form of parts, specific surface, granulometric composition also influence solubility and dispersing of hydrocolloids. Important factors are way of solution preparing (dispersion), intensity and time of mixing, temperature, pH value of environment, presence of electrolytes, mineral substances and substances that are hydrated (e.g. sugar), possibility of forming complexes with other compounds of the system, and decomposition processes caused by action of enzymes or microorganisms [6; 7]. Substances, that can form associates with other macromolecular components of food products, what provoke a significant increase in viscosity and concentration of salt, are known.

Setting objectives. Guar gum (cod E412), contained in seeds of the guar pod (*Cyamopsis tetragonolobus*), belongs to galactomannans (polysaccharides that consist of (1,4)- β -glycosidic linked mannose residues, to which with 1,6- bonds at regular intervals attached side chains, that consist of single residues of α -D- galactose) [5].

Rheological characteristics were determined using a rotational viscometer “Reotest – 2”.

Research results. Aqueous solutions of guar gum with concentration 0,1–1,0 wt% were used for study of rheological properties. Temperature of the study was 25 C. Obtained rheograms for guar gum solutions are shown in Fig. 1.

It is established that if guar gum concentration is less than 0,3%, then dependence of strain rate on shear stress has almost linear dependence, it indicates that these solutions are Newtonian fluids. Increase of guar gum concentration to more than 0,3 wt% causes changes of rheological behaviour of the solutions. Therefore, when concentration is more than 0,3 wt%, dependence of strain rate on shear stress is described by nonlinear dependence, i.e. in this case aqueous solutions of guar gum refer to non-Newtonian fluids. It should be noted that increase of guar gum concentration causes increase of shear stress, which should be put for providing the same strain rate. Such behaviour of aqueous solutions can be explained by absence or low strength of spatial structure, which is formed by gum molecules at low concentrations. Increase of concentration causes strengthening of the spatial structure, and, as a result of it, liquid acquires non-Newtonian properties.

Values of stresses of almost indestructible system and stresses of almost destroyed system are determined on basis of the obtained results, using graphical method of rheogram analysis. Dependence of stresses of almost indestructible system on guar gum concentration is shown in Fig. 2.

It is established that dependence of stresses of almost destroyed system by type is close to the corresponding dependence of xanthan gum. Dependence in Fig. 2 can be roughly divided into three main areas. In the first area at concentration 0,1–0,5% stress of

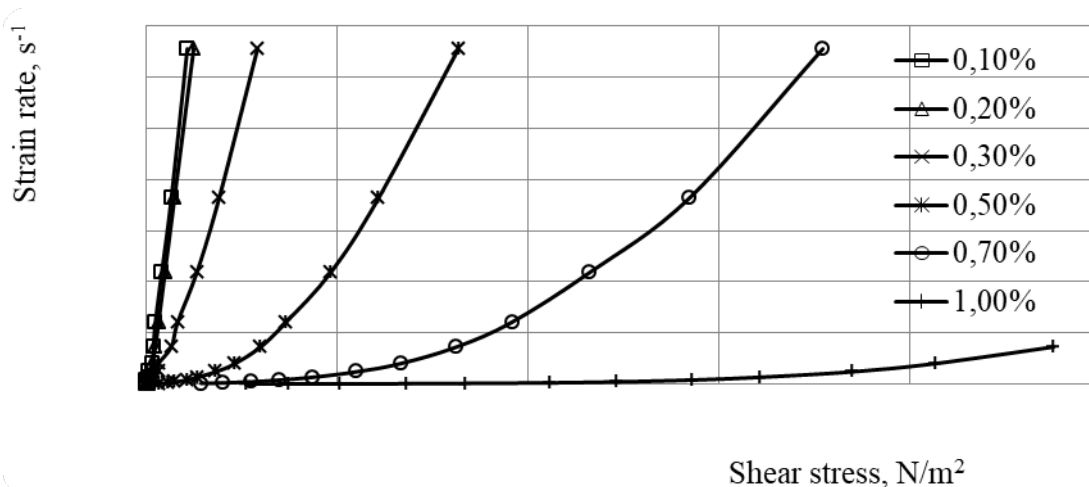


Fig. 1. Dependence of strain rate on shear stress for aqueous solutions of guar gum at different concentration

almost indestructible system gradually increases with increase of guar gum concentration. In the second area, which is characterized by 0,5–0,7% concentration, stress sharply increases in almost 5 times.

Further increase of concentration in the third area from 0,7% to 1% causes further slight increase of stress of the system. It should be noted that similar dependence also characterizes behaviour of xanthan gum, but there is a difference that in absolute values of stresses of xanthan gum are almost twice higher than stresses of guar gum.

It should also be noted that in xanthan gum at concentration 0,5% b–0,7% sharp increase of stress in the

system is also observed, but this increase is only in 3 times, at the same time, for guar gum it increases in 5 times. For the flow mode, when the stresses are lower than stresses of almost indestructible system, the flow passes with maximum viscosity, dependence of which on guar gum concentration is shown in Fig. 3.

By the results of the conducted research (Fig. 3) it is determined that the viscosity of almost indestructible system for aqueous solutions of guar gum stays almost stable for concentration range 0,1–0,7% and is ~9,0–9,5 mPa·s.

Higher increase of concentration causes sharp increase of viscosity of the system to ~19 mPa·s,

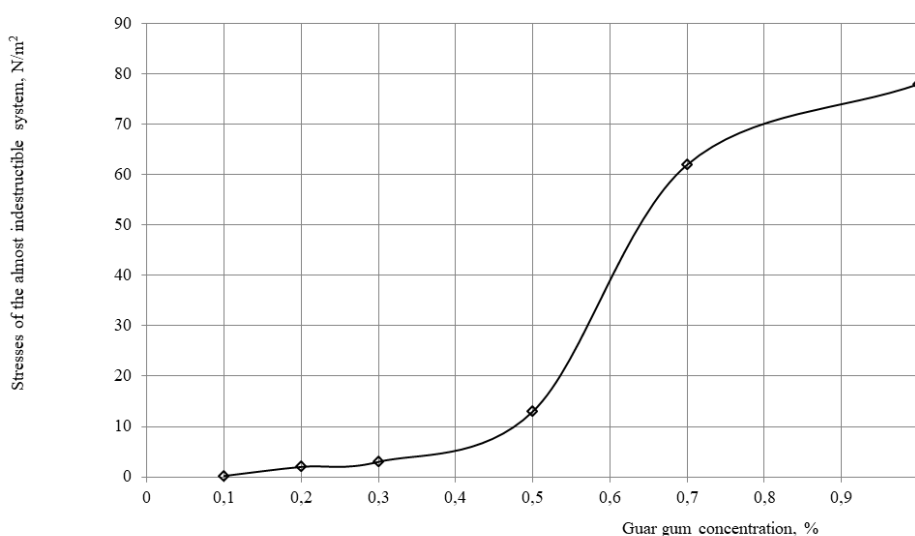


Fig. 2. Dependence of stresses of the almost indestructible system on guar gum concentration

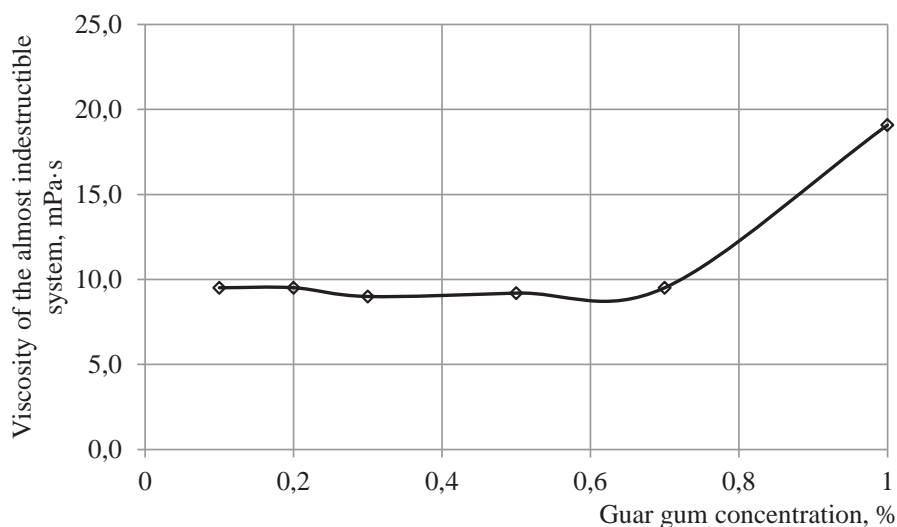


Fig. 3. Dependence of viscosity of the almost indestructible system on guar gum concentration

more than in two times. This explains why at concentration higher than 0,7% the system changes from pseudoplastic structure to plastic and in the solution begins to form strong spatial grid.

It should also be mentioned that viscosities of guar gum aqueous solutions have similar values with corresponding values for xanthan gum, but viscosity of xanthan gum constantly increases with increasing of solutions concentration.

The growth of shear stress causes destruction of structures that are formed inside an aqueous solution of polymers. This state is characterized by the stress of the almost destroyed system, dependence of which on concentration is shown in Fig. 4.

As it is seen in the Fig. 4, the stress of the almost destroyed system grows with increasing of guar gum concentration. At the same time, speed of the stress

growth increases with increasing of the concentration. First, when guar gum concentration grows from 0,1% to 0,5%, the stress increases from 2,7 N/m² to 64 N/m² (for almost 60 N/m²). Next, when concentration grows from 0,7 % to 1,0 %, it causes an increase of the stress for 140 N/m² from 190 N/m² to 330 N/m², i. e. speed of the stress growth increases almost twice. It should also be mentioned that represented dependence, with correlation coefficient 0,98, is described by quadratic dependence.

It is also defined that the dependence of the stress of the almost destroyed system of guar gum aqueous solutions has a similar shape with the dependence for xanthan gum. Also they have similar absolute values of stresses.

When values of the shear stress exceed values of the stress of the almost destroyed system, it is characterized

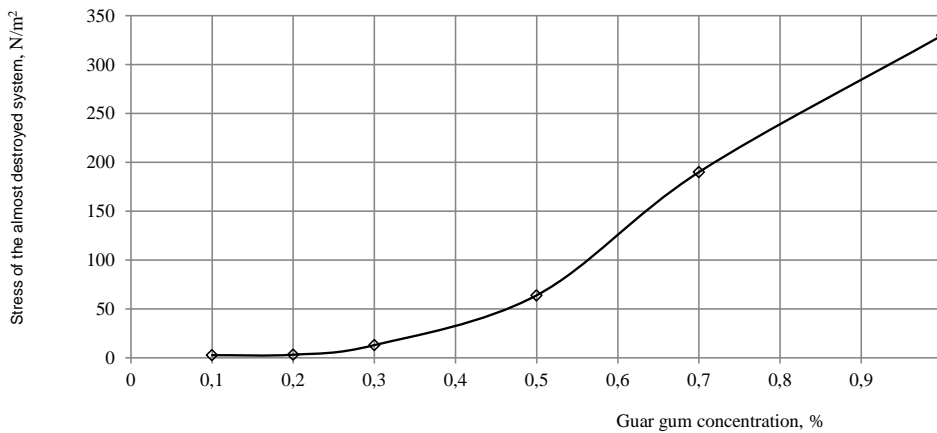


Fig. 4. Dependence of the stress of the almost destroyed system on guar gum concentration

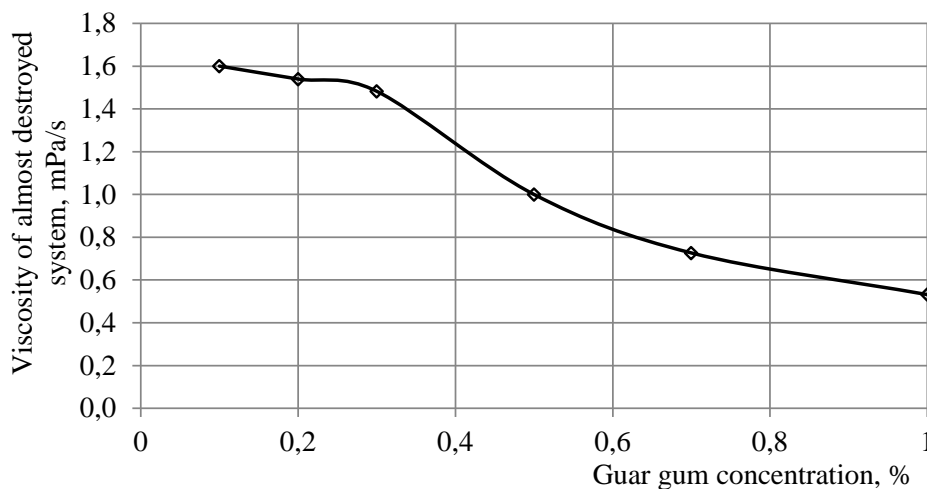


Fig. 5. Dependence of viscosity of the almost destroyed system on guar gum concentration

by the lowest values of viscosity. This viscosity is called viscosity of the almost destroyed system, and its dependence on guar gum concentration is shown in Fig. 5.

It is established (Fig. 5) that with increase of guar gum concentration, viscosity of the almost destroyed system decreases. Dependence of this parameter on concentration can be roughly divided into two areas: the first one is from the concentration value 0,1% to 0,3%, and the second one is from 0,3% to 1,0%. The first area is characterized by a gradual insignificant decrease of the viscosity, in this area viscosity of the almost destroyed system decreases by $\sim 0,12$ mPa·s from 1,6 mPa·s to 1,48 mPa·s. Transition to the second area provokes

a much sharper decrease of viscosity. So the transition of the concentration from 0,3 % to 0,5 % provokes decrease of viscosity for 0,48 mPa·s, what is 4 times more than at the transition from 0,1% to 0,3%.

Besides the graphical method of the obtained dependencies analysis, also was used an analytical method, for realization of which first were built dependencies on the coordinates $\ln P - \ln \dot{\gamma}$, which are shown in Fig. 6.

It is established that dependence of experimental data on the coordinates has linear character; also the thixotropy parameter and the flow index (deviations from Newtonian flow) are calculated. Results of calculations are shown on the table 1.

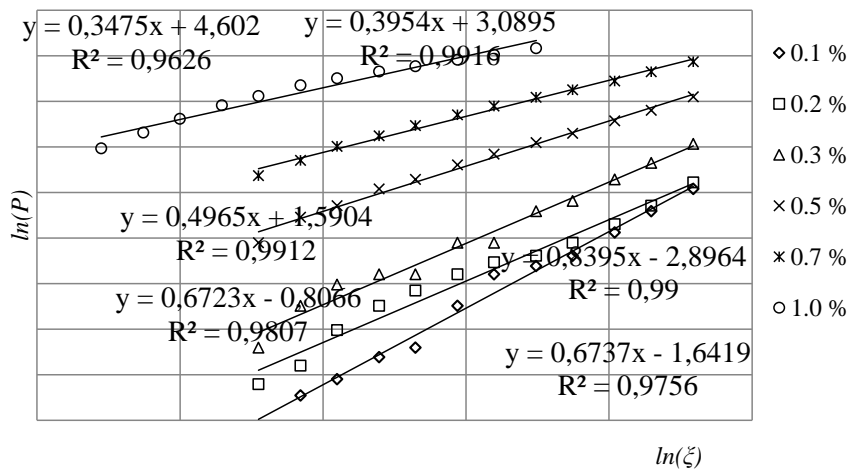


Fig. 6. Dependence of strain rate on the shear stress in the coordinates $\ln P - \ln \dot{\gamma}$ for aqueous solutions of guar gum at different concentrations



Fig. 7. Dependence of the flow index of guar gum aqueous solutions on concentration

Table 1
Values of the flow index and the thixotropy parameter of guar gum aqueous solutions at different concentrations

Guar gum concentration, %	Flow index, n	Thixotropy parameter, o
0,1	0,3475	0,010
0,2	0,3954	0,046
0,3	0,4965	0,204
0,5	0,6723	2,240
0,7	0,6737	5,165
1,0	0,8395	18,109

It is defined that with increase of guar gum concentration, the flow index and the thixotropy parameter constantly grow. Dependence of the flow index of

aqueous solutions of guar gum on its concentration is shown in Fig. 7.

It is established that growth of concentration of guar gum in an aqueous solution causes gradual increase of the flow index. It should also be mentioned that flow index values are lower than one for all the concentrations, it is typical for pseudoplastic solutions.

Conclusions. Results of researches show that guar gum aqueous solutions in a wide range of concentrations refer to Non-Newtonian fluids. Defined rheological properties of guar gum aqueous solutions are important for understanding the processes of structure formation that occur. Obtained results of researches can be used in stabilizing systems modelling using galactomannans for the production of low fat mayonnaises and sauces.

References:

1. Brian M. McKenna. The Structure and Texture of Food. Emulsion-Based Food Products. Moscow – St.-Petersburg : Profession, 2008. P. 221–222 (in Russian).
2. Tymchenko V.K., Zybchenkova A.K., Savus A.A. Technology of Mayonnaises, Salad Sauces and Dressings. Tutorial. Kharkiv : NTU “HPI”, 2007. P. 146–147 (in Russian).
3. Nachaev A.P., Kochetkova A.A., Zaitse A.N. Dietary Supplements. Moscow : Kolos, 2002. P. 120–122 (in Russian).
4. Gorshkova L.M., Petryk I.P., Radchenko L.P. Textural Ingredients for Mayonnaises and Sauces of Medium and Low Fat Content. Dietary Supplements. *Oils and fats complex*. Dnipropetrovsk : “Expert Agro”, 2009. № 2 (25). P. 41–44. (in Russian).
5. Nachaev A.P., Kochetkova A.A., Zaitse A.N. Dietary Supplements. Moscow : Kolos, 2002. P. 156–157 (in Russian).
6. Optimization of recipes of mayonese emulsives with egg white / T.T. Nosenko V.I. Babenko, V.O. Bakhmach, O.O. Kubaychuk // *Scientific Works of NUFT*. 2018. Vol. 24. Issue 4. P. 186–194 (in Ukrainian).
7. Klyuchnikova L.V. Multi-Component Systems for Mayonnaises and Sauces Production. *Oilfat industry*, 2005. № 2. P. 34–35 (in Russian).

Бахмач В.О., Вовкодав О.В., Вовкодав Н.І. РЕОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ КАМЕДИ ГУАРИ

Досліджено реологічні характеристики водних розчинів гуарової камеді. Майонез – це емульсія олійно-водного типу, що складається з рослинної олії (50-85%), яєчного жовтка (5-10%), оцту, солі та приправ. Емульсія стабілізується фосфоліпідами яєчного жовтка. Продукти з меншим вмістом олії (до 50%) можуть містити загусники, такі як крохмаль, пектин, агар-агар, карбоксиметилцелюлоза, молочні білки.

У технології майонезу є широкі можливості використання гуарової камеді. Стабільність за низьких значень рН та низького вмісту солі, розчини з високою в'язкістю за незначної швидкості зсуву та псевдопластичні характеристики роблять привабливим використання стабілізаційних систем. Через псевдопластичні характеристики, що властиві гуаровій камеді, розчини мають текучість і одночасно залишаються на салатах. Низькі концентрації гуарової камеді забезпечують високу в'язкість соусів за кислотних і нейтральних значень рН. В'язкість розчинів також стабільна до перепадів температури й витримує різні умови тривалого зберігання. Гуарова камедь може використовуватися для часткової заміни крохмалю, поліпшення стійкості та додавання відчуття наповненості в роті. Встановлено, що зростання концентрації гуарової камеді у водному розчині зумовлює поступове збільшення показника потоку. Слід також зазначити, що значення індексу потоку нижче, ніж одне для всіх концентрацій, це характерно для псевдопластичних розчинів. Результати досліджень показують, що водні розчини гуарової камеді в широкому діапазоні концентрацій належать до неньютонових рідин. Також визначено, що залежність напруги майже зруйнованої системи водних розчинів гуарової камеді має аналогічну форму із залежністю для ксантанової камеді. Також вони мають аналогічні абсолютні значення напружень. Коли значення напруги зсуву перевищують значення напруги майже зруйнованої системи, вона характеризується найнижчими значеннями в'язкості. Реологічні властивості водних розчинів гуарової камеді важливі для розуміння процесів утворення структури, що відбуваються. Отримані результати можуть бути використані під час моделювання стабілізаційних систем для виробництва нежирних майонезів і соусів.

Ключові слова: стабілізація, гуарова камедь, галактоманан, реологічні властивості, в'язкість, структура.

Геліх А.О.

Сумський національний аграрний університет

Применко В.Г.

Відокремлений підрозділ «Дніпровський факультет менеджменту і бізнесу Київського університету культури»

Василенко О.О.

Сумський національний аграрний університет

Геращенко М.

Сумський національний аграрний університет

Савісько О.

Сумський національний аграрний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЙОГУРТІВ ІЗ ДОДАВАННЯМ НАПОВНЮВАЧІВ

Статтю присвячено математичному моделюванню залежності кислотності та реологічних показників (в'язкості) йогуртів від додавання сублімованого полуничного порошку. Розроблено рецептуру йогурту, який може бути введений до складу раціонів харчування як продукт фізіологічної дії. Спроектовано та представлено модель оптимізації показників якості йогурту, як полікомпонентної системи, за оптимальними показниками у процесі 14-ти добового зберігання. Під час досліджень розроблено універсальну модель ортогонального центрального композиційного плану для оптимізації кислотності та в'язкості полікомпонентних гетерогенних систем по критерію збалансованості за стандартними показниками. Проаналізовано та описано ортогональний центрально-композиційний план при трьох (n) факторах оптимізації полікомпонентних дисперсних систем та підтверджено однорідність дисперсії за допомогою G -критерію (Кохрена) при фіксованому рівні значущості α (0,05). Значимість статистичної моделі та надійність рівняння регресії визначали за допомогою F -критерію Фішера. Проведено органолептичну оцінку та визначення кислотності і в'язкості кожної рецептурної композиції йогуртів з додаванням різних кількостей сухого сублімованого полуничного порошку. Оцінку здійснювали в ході експерименту аналітичними методами та методом розробленого профільного аналізу по баловій шкалі. Після дослідження отриманих графічних даних, результатів безпосередніх вимірювань та інтерпретації рівняння регресії, оптимальною рецептурною композицією йогуртів з додаванням полуничного порошку у якості наповнювача визначено зразок, який має найкращі показники активної і титрованої кислотності та в'язкості у продовж 14-ти добового зберігання при органолептичній оцінці 14,25.

Ключові слова: йогурт, полуничний порошок, наповнювач, кислотність, в'язкість, оптимізація, ортогональний центрально-композиційний план.

Постановка проблеми. У роботі досліджується, як за допомогою методів математичного моделювання, а саме використання ортогонального центрально-композиційного плану, знаходити оптимальну кількість наповнювача у йогуртах для збереження його показників якості під час зберігання. Під час оптимізації враховується взаємозалежність та величина чотирьох факторів: активна кислотність, титрована кислотність та ефективна в'язкість та показниках орго-

лептичних досліджень. Дані по кислотності та в'язкості співставляються з показниками йогуртів виготовлених по ДСТУ 4343:2004. За основу береться класична технологія йогурту на основі коров'ячого молока незбираного з додаванням стабілізатора та закваски. Функція відгуку інтерпретується та досліджується після чого робляться висновки щодо оптимальної кількості внесення в якості наповнювача полуничного порошку до рецептури йогурту.

Важливістю досліджень у цій сфері є створення моделі, методичних рекомендації для створення асортименту йогуртів із застосування наповнювачів – сублімованого полуничного порошку, а також наповнювачів з іншою фізичною структурою та більш широкого впровадження їх у промисловість. Проаналізовані існуючі дані досліджень підтверджують, що сублімований полуничний порошок є біологічно багатую сировиною на вітаміни [1, с. 4–5], харчові волокна [2, с. 2–4] та макро-і мікроелементи, серед їх числа К та Fe [3, с. 4–5], що оптимально підходить для приготування йогуртів з їх додаванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемним місцем є визначення оптимальних показників кислотності та в'язкості, щоб забезпечити якість йогурту впродовж всього терміну зберігання при цьому задовольнити органолептичні вподобання споживача та отримати оптимально збалансований продукт за хімічним складом. Досягти цього досить складно оскільки обсяги дослідження занадто великі. Ідея внесення сублімованого полуничного порошку до технології йогуртів пов'язана з декількома факторами. Одним із них є прагнення збалансувати хімічний склад йогуртів, шляхом додавання харчових волокон і вітамінів, що дасть змогу отримати продукт ідеально збалансований для щоденного харчування. З іншого боку, полуничний порошок володіє приємним смаком, ароматом, кольором, які достатньо легко дифундують у полідисперсну систему йогурту. Його застосування як наповнювача дасть можливість уникнути застосування синтетичних сполук. Харчові волокна, що містяться в полуничному порошку в кількості 5,6 % [4, с. 7] здатні до поглинання вологи та стабілізації структури йогурту і можуть впливати на в'язкість. Органічні кислоти, що також присутні у порошку мають тенденцію до збільшення кислотності у самому йогурті, і таким чином впливати на терміни зберігання. [5, с. 2–3]. Щоб зменшити витрати часу при вирішенні питання оптимізації було вирішено використовувати математичні методи.

Серед основних напрямів вирішення вищевказаної проблеми, виявлених в ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені:

- дослідження рослинних порошоків в тому числі полуничного у якості продукту харчування за показниками фізико-хімічних, харчових та споживчих властивостей [6, с. 4];

- математичне моделювання рецептурного складу кексу з високим харчовим значенням [7, с. 2];

- оптимізація виробництва біомаси з кефірного зерна. Кефірні зерна культивували при різних змінних умовах (температура, час, швидкість обертання шейкер, доповнення культурних середовищ), щоб оцінити їх наслідки [8, с. 5–8];

- оптимізація та математичне моделювання атрибутів якості переробленого рису за допомогою методу поверхневого відгуку [9, с. 1–5];

- у дослідженні наслідки умов сушіння гарячого повітря за кольором, вмістом води та загальним фенольним вмістом сухого яблука були досліджені з використанням штучної нейронної мережі як інтелектуальної системи моделювання. Після цього генетичний алгоритм був використаний для оптимізації умов сушіння [10, с. 2–4];

- осмотичні умови дегідратації полуниці були оптимізовані за допомогою центрального комбінованого поворотного дизайну [11, с. 3].

Постановка завдання. Метою дослідження є оптимізація залежності кислотності та реологічних показників (в'язкості) йогуртів від додавання сублімованого полуничного порошку при одному з максимальних значень органолептики та створення універсальної моделі для інших рецептур йогуртів в яких використовується наповнювач.

Для досягнення поставленої мети виконувались наступні завдання:

1. Розробка ортогональний центрально-композиційний план при трьох (n) факторах оптимізації реологічних показників з фіксацією кожного з факторів на п'яти рівнях з урахуванням мінімальної і максимальної кількості полуничного порошку при незмінних основних характеристиках йогуртів.

2. Оцінка органолептичних властивостей кожної рецептурної композиції визначеної в ході експерименту.

3. Визначення близького до оптимального співвідношення активної кислотності, титрованої кислотності та ефективної в'язкості до аналогічних показників йогуртів виготовлених по ДСТУ 4343:2004, шляхом інтерпретація отриманих математичних даних на мову експерименту з урахуванням органолептичних показників.

Виклад основного матеріалу дослідження. Органолептичну оцінку якості йогурту здійснювали аналітичними методами – якісним і методом профільного аналізу. Сутність профільного методу полягає в тому, що складне поняття одного з органолептичних показників (консистенція, смак та запах, колір) було представлено у вигляді сукупності складових (дескрипторів), які оцінювалися експертами за показниками якості, інтенсивності та порядку проявлення.

Для проведення оптимізації функція відгуку формується у вигляді повного квадратного поліному другого порядку для $n=3$, що наведений в формулі 1. Для визначення коефіцієнтів поліному використовується ортогональний центрально-композиційний план другого порядку (ОЦКП).

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (1)$$

Ортогональний центрально-композиційний план – це такий план, у якого матриця планування X будується так, що b матриця $C = XtX$ виявилася діагональною. Використовуємо цей підхід і при побудові планів другого порядку. План називається центральним, якщо всі крапки розташовані симетрично щодо центру плану. ОЦКП – центральний симетричний прямокутний композиційний план.

Для визначення ОЦКП таким, що може бути використаний в дослідженнях, застосовуються 3 критерії, дані про які є загальновідомими:

1. t-критерій Стьюдента/Ст'юдента – загальна назва для класу методів статистичної перевірки гіпотез (статистичних критеріїв), заснованих на порівнянні з розподілом Стьюдента. Найчастіші випадки застосування t-критерію пов'язані з перевіркою рівності середніх значень у двох вибірках^[1].

2. Критерій Кохрена – використовують для порівняння трьох і більше вибірок однакового обсягу.

3. F-тестом або критерієм Фішера (F-критерієм, ϕ^* -критерієм) – називають будь-який статистичний критерій, тестова статистика якого при виконанні нульової гіпотези має розподіл Фішера (F-розподіл).

Параметром оптимізації є оптимальне співвідношення показників кислотності та в'язкості при одному з максимальних значень органолептики. За основу бралися показники, що прописані у ДСТУ 4343:2004. В ОЦКП кожний фактор фіксується на п'яти рівнях, з огляду на максимальне

та мінімальне значення кислотності та в'язкості при залишенні незмінним основних властивостей йогурту у продовж зберігання, що наведено в табл. 1. План експерименту, результати безпосередніх вимірювань та їх початковий аналіз представлені в табл. 2 та табл. 3 відповідно.

У результаті досліджень були отримані коефіцієнти рівняння регресії. Проведено статистичний аналіз моделі загалом та її коефіцієнтів окремо. Результати наведено в табл. 4.

Після побудови ОЦКП, проведення всіх необхідних розрахунків та визначення рівняння регресії надійним проводиться заміна коефіцієнтів у формулі 1 на визначені у дослідженнях, що дає можливість визначення взаємозалежності полуничного порошку та його вплив на показники оптимізації, а саме кислотність та в'язкість. Як наслідок отримана регресійна модель в кодованих одиницях має вигляд:

$$Y = 14,34 + 1,05x_1 + 0,28x_2 + 0,41x_3 + 0,11x_1x_2 + 0,04x_1x_3 + 0,03x_2x_3 - 0,08x_1x_2x_3 - 0,07x_1^2 + 0,08x_3^2 \quad (2)$$

Після дослідження даних, результатів безпосередніх вимірювань та рівняння регресії оптимальним було визначено 21 зразок (табл. 1, 2, 3).

Переведення моделі на мову експериментатора називається інтерпретацією моделі. Вплив фактору на параметр оптимізації дорівнює величині коефіцієнта регресії. Оскільки, Y прагне до максимуму, то збільшення коефіцієнтів зі знаком + сприятливо для параметру оптимізації. Фактори коефіцієнти яких незначні (з погляду експериментатора, що володіє досвідом в досліджуваній сфері) не інтерпретуються і не здійснюють суттєвого впливу на параметр оптимізації.

Найважливішою в дослідженнях функції відгуку є взаємодія двох і більше факторів. Спираючись на рівняння регресії, найбільший вплив на параметр оптимізації здійснює взаємодія факторів x_1 та x_3 , що відповідає найбільшому коефіцієнту 0,11. Цей висновок виходить з рівняння

Таблиця 1

Фактори та параметри оптимізації, що впливають на якість йогуртів у процесі зберігання

Фактори, що впливають на оптимізацію		Рівні фіксації факторів та їх натуральні величини, г					Параметри оптимізації		
		-1,414	-1	0	1	1,414	Активна кислотність, рН	Титрована кислотність, Т	В'язкість, Па·с·10 ⁻³
x1	Полуничний порошок	6,93	1	3	5	12,07	80	4,4	26,1
x2	Стабілізатор	3,86	0,5	1,5	2,5	5,14	84	4,3	56,4
x3	Сахароза (цукор)	7,93	2	5	8	22,07	93	4,2	97,3

регресії, а також пояснюється тим що одиничний параметр оптимізації y_1 (активна кислотність) в основному збільшується за рахунок збільшення факторів x_1 та x_2 , а одиничний параметр оптимізації y_3 (ефективна в'язкість) за рахунок збільшення фактору x_3 .

Парне та трьох факторне взаємовідношення зводиться до більш низького рівня, якщо в ньому є фактори не мають значимого впливу на параметр оптимізації. Інтерпретація рівняння регресії, яке є надійним (дисперсія однорідна та статистична модель значима), є основним способом для при-

йняття вірних рішень при оптимізації. Тому після дослідження графічних даних, результатів безпосередніх вимірювань та інтерпретації рівняння регресії оптимальною рецептурної композицією було визначено 21 зразок, який має найбільш близьке до оптимальних показники активної і титрованої кислотності та ефективної в'язкості при органолептичній оцінці 14,25. Важливою умовою при дослідженні рецептурної композиції є той фактор, що при отриманні високих показників якості або кількості полуничного порошку інші показники можуть мати незадовільні значення, тому треба

Таблиця 1

Фактори та параметри оптимізації, що впливають на якість йогуртів у процесі зберігання

Фактори, що впливають на оптимізацію		Рівні фіксації факторів та їх натуральні величини, г					Параметри оптимізації		
		-1,414	-1	0	1	1,414	Активна кислотність, рН	Титрована кислотність, Т	В'язкість, Па·с·10 ⁻³
x1	Полуничний порошок	6,93	1	3	5	12,07	80	4,4	26,1
x2	Стабілізатор	3,86	0,5	1,5	2,5	5,14	84	4,3	56,4
x3	Сахароза (цукор)	7,93	2	5	8	22,07	93	4,2	97,3

Таблиця 2

Ортогональний центрально-композиційний план при чотирьох (n) факторах оптимізації йогуртів (матриця планування)

№	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1^2 - 0,8$	$x_2^2 - 0,8$	$x_3^2 - 0,8$
1	1	1	1	1	0,20	0,20	0,20
2	1	-1	1	1	0,20	0,20	0,20
3	1	1	-1	1	0,20	0,20	0,20
4	1	-1	-1	1	0,20	0,20	0,20
5	1	1	1	-1	0,20	0,20	0,20
6	1	-1	1	-1	0,20	0,20	0,20
7	1	1	-1	-1	0,20	0,20	0,20
8	1	-1	-1	-1	0,20	0,20	0,20
9	1	1	-1	1	0,20	0,20	0,20
10	1	-1	-1	1	0,20	0,20	0,20
11	1	1	1	1	0,20	0,20	0,20
12	1	-1	1	1	0,20	0,20	0,20
13	1	1	-1	-1	0,20	0,20	0,20
14	1	-1	-1	-1	0,20	0,20	0,20
15	1	1	1	-1	0,20	0,20	0,20
16	1	-1	1	-1	0,20	0,20	0,20
17	1	-1,414	0	0	-0,80	-0,80	-0,80
18	1	1,414	0	0	-0,80	-0,80	-0,80
19	1	0	-1,414	0	-0,80	-0,80	1,20
20	1	0	1,414	0	-0,80	-0,80	1,20
21	1	0	0	-1,414	1,20	-0,80	-0,80
22	1	0	0	1,414	1,20	-0,80	-0,80
23	1	0	0	0	-0,80	1,20	-0,80
24	1	0	0	0	-0,80	1,20	-0,80
25	1	0	0	0	-0,80	-0,80	-0,80

обрати композицію з максимальним балансом факторів хоча показники можуть мати нижчі значення, і на це треба звертати особливу увагу при дослідженнях та інтерпретації результатів.

Висновки. Під час пророблених досліджень була досягнута мета, а саме оптимізовано показники кислотності та в'язкості від кількості внесеного порошку, та вирішені поставлені задачі:

Таблиця 3

Результати безпосередніх вимірювань

№	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}_j	s_j^2	\hat{y}	\bar{y}	s_{ad}^2
1	8,8	11,9	31,7	12,41	16,2	109,56	16,2	16,3	0,017
2	7,8	10,1	25,9	10,56	13,6	68,73	13,6	13,7	0,005
3	6,9	10,1	31,5	13,71	15,6	120,36	15,6	15,4	0,037
4	6,4	11,4	26,1	11,67	13,9	71,99	13,9	13,7	0,038
5	8,0	7,1	31,1	14,16	15,1	123,82	15,1	15,3	0,034
6	7,4	8,4	25,7	11,02	13,1	72,41	13,1	13,3	0,033
7	6,5	8,4	31,3	12,75	14,7	128,23	14,7	14,7	0,007
8	5,6	6,6	25,5	13,26	12,7	83,61	12,7	12,6	0,019
9	7,1	11,6	31,7	11,64	15,5	120,55	15,5	15,6	0,006
10	6,2	9,8	25,9	10,20	13,0	76,64	13,0	13,0	0,000
11	8,6	10,3	31,5	14,22	16,2	110,24	16,2	16,0	0,020
12	8,0	11,6	26,1	11,61	14,3	64,33	14,3	14,2	0,020
13	6,3	6,9	31,1	12,53	14,2	134,33	14,2	14,3	0,017
14	5,8	8,1	25,7	12,26	13,0	78,82	13,0	13,1	0,017
15	8,2	8,6	31,3	14,01	15,5	117,50	15,5	15,5	0,001
16	7,2	6,8	25,5	11,26	12,7	76,60	12,7	12,6	0,007
17	6,7	9,0	24,6	10,25	12,6	65,96	12,6	12,7	0,010
18	7,7	9,4	32,5	13,49	15,8	130,66	15,8	15,7	0,005
19	6,0	9,1	28,6	12,34	14,0	100,95	14,0	14,2	0,027
20	8,3	9,4	28,6	14,05	15,1	87,17	15,1	15,0	0,018
21	6,8	6,9	28,3	14,25	14,1	102,16	14,1	13,8	0,049
22	7,6	11,5	28,9	10,96	14,7	91,77	14,7	15,0	0,064
23	7,0	8,1	28,4	11,83	13,9	98,60	13,9	14,0	0,009
24	7,3	10,3	28,7	12,18	14,6	92,21	14,6	14,6	0,004
25	7,2	9,2	28,6	12,84	14,5	94,11	14,5	14,4	0,002

Таблиця 4

Результати статистичного аналізу експерименту

	x1x2	x1x3	x2x3	x3x4	x1x2x3
$\sum xi * y_{ср}$	1,8	0,6	0,5	0,0	-1,3
$\sum xi^2$	16	16	16	16	16
b_i	0,11	0,04	0,03	0,00	-0,08
$S2\{b_i\}$	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
$S\{b_i\}$	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
t_i	0,08	0,03	0,02	0,00	0,06
$t_i - t_{кр}$	-1,98	-2,03	-2,04	-2,06	-2,00
$\sum S_j^2$	0,466			Sy2	
S_{j2max}	0,0233				
G	0,000240			α	
m-1	4				
N	20				f1

1. Розроблено ортогональний центральньо-композиційний план при трьох (n) факторах оптимізації збереження показників якості йогуртів при зберіганні із внесенням наповнювача – полуничний порошок та підтверджено однорідність дисперсії, за допомогою G-критерій (Кохрена) при рівні значущості α (0,05), значимість статистичної моделі та надійність рівняння регресії, за допомогою F-критерію Фішера (табл.4).

2. Проведено органолептичну оцінку кожної рецептурної композиції визначеної в ході експерименту здійснювали аналітичними методами – якісним та методом профільного аналізу.

3. Після дослідження графічних даних, результатів безпосередніх вимірювань та інтерпретації рівняння регресії оптимальною рецептурною композицією було визначено 21 зразок (табл.1, 2,3), який має найбільш близьке до показників ДСТУ 4343:2004 значення при органолептичній оцінці 14,25.

Список літератури:

1. Urban Feguš, Uroš Žigon, Marcus Petermann Effect of drying parameters on physicochemical and sensory properties of fruit powders processed by PGSS-, Vacuum- and Spray-drying [Text] / Urban Feguš, Uroš Žigon, Marcus Petermann // *Acta Chimica Slovenica*. 2015; 62(2): 479-487. DOI 10.17344/acsi.2014.969.
2. Betts Nancy M., Simmons Brandi, Penugonda Kavitha, Wilkinson Marci, Basu Arpita Freeze-dried strawberry powder improves lipid profile and lipid peroxidation in women with metabolic syndrome: baseline and post intervention effects [Text] / Betts Nancy M., Simmons Brandi, Penugonda Kavitha, Wilkinson Marci, Basu Arpita // *Nutrition Journal*. 2009;8(1):43 DOI 10.1186/1475-2891-8-43
3. Zhiqing Gong, Manman Yu, Xianquan Shi Functionality of spray-dried strawberry powder: effects of whey protein isolate and maltodextrin [Text] / Zhiqing Gong, Manman Yu, Xianquan Shi // *International Journal of Food Properties*. 2018;21(1):2229-2238 DOI 10.1080/10942912.2018.1506477.
4. Sasikala SHANMUGAM, Nilam ROY, Swamy Gabriela JOHN Effect of antioxidants and dietary fiber from apple and strawberries on value addition into mutton patties [Text] / Sasikala SHANMUGAM, Nilam ROY, Swamy Gabriela JOHN // *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI: Food Technology*. 2017;41(1):95-105.
5. Elane Schwinden Prudêncio, Honório Domingos Benedet Physico-chemical, microbiological and rheological evaluation of dairy beverage and fermented milk added of probiotics [Text] / Elane Schwinden Prudêncio, Honório Domingos Benedet // *Semina: Ciências Agrárias*. 2008;29(1):103-116 DOI 10.5433/1679-0359.2008v29n1p103.
6. Érika Fabiane Furlan Physicochemical stability and market of mussels (*Perna perna*) cultivated in Ubatuba – SP, Brasil [Text] / Érika Fabiane Furlan, Juliana Antunes Galvão, Eduardo Oliveira Salán, Viviane Angeli Yokoyama, Marília Oetterer // *Food Science and Technology*. 2007; 27(3): 516-523.
7. G.A. Krutovyi G.V. Zaparenko L.O. Kasilova O.V. Nemirich A.V. Gavrysh Mathematical Modeling of Prescription Composition of Cupcake with High Nutritional Value [Text] / G.A. Krutovyi G.V. Zaparenko L.O. Kasilova O.V. Nemirich A.V. Gavrysh // *Nauka ta Innovacii*. 2013; 9(5): 5-9. DOI 10.15407/scin9.05.005.
8. Carmen Rodica Pop, Sorin Apostu, Liana Salanță, Anuța M. Rotar, Marianne Sindic, Carmen Socaciu Influence of Different Growth Conditions on the Kefir Grains Production, used in the Kefiran Synthesis [Text] / Carmen Rodica Pop, Sorin Apostu, Liana Salanță, Anuța M. Rotar, Marianne Sindic, Carmen Socaciu // *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca: Food Science and Technology*. 2014; 71(2):147-153 – Access mode: [https:// dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:10802](https://dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:10802). DOI 10.15835/buasvmcn-fst:10802.
9. Khurram Yousaf, Chen Kunjie, Chen Cairong, Adnan Abbas, Yuping Huang, Chaudhry Arslan, Zhang Xuejin The Optimization and Mathematical Modeling of Quality Attributes of Parboiled Rice Using a Response Surface Method [Text] / Khurram Yousaf, Chen Kunjie, Chen Cairong, Adnan Abbas, Yuping Huang, Chaudhry Arslan, Zhang Xuejin // *Journal of Food Quality*. 2017; 2017 – Access mode: [https:// dx.doi.org/10.1155/2017/5960743](https://dx.doi.org/10.1155/2017/5960743). DOI 10.1155/2017/5960743.
10. Karina Di Scala, Gustavo Meschino, Antonio Vega-gálvez, Roberto Lemus-mondaca, Sara Roura, Rodolfo Mascheroni An artificial neural network model for prediction of quality characteristics of apples during convective dehydration [Text] / Karina Di Scala, Gustavo Meschino, Antonio Vega-gálvez, Roberto Lemus-mondaca, Sara Roura, Rodolfo Mascheroni // *Food Science and Technology*. 2013; 33(3):411-416. DOI 10.1590/S0101-20612013005000064.
11. Bei Liu, Bangzhu Peng Modelling and Optimization of Process Parameters for Strawberry Osmotic Dehydration Using Central Composite Rotatable Design [Text] / Bei Liu, Bangzhu Peng // *Journal of Food Quality*. 2017; 2017 – Access mode: <https://dx.doi.org/10.1155/2017/2593213>. DOI 10.1155/2017/2593213.

Helikh A.O., Prymenko V.H., Vasylenko O.O., Gerashchenko M., Savisko O. OPTIMIZATION OF YOGURT QUALITY INDICATORS WITH ADDITIONAL FILLERS

The article is devoted to mathematical modeling of the dependence of acidity and rheological parameters (viscosity) of yoghurts on the addition of sublimated strawberry powder. The recipe of yogurt, which can be introduced into the diet as a product of physiological action, has been developed. The model of optimization of indicators of quality of yogurt, as a multicomponent system, for optimal performance during 14 days storage is designed and presented. In the course of the research, a universal model of the orthogonal central composite plan was developed to optimize the acidity and viscosity of multicomponent heterogeneous systems by the criterion of equilibrium according to standard indicators. The orthogonal center-composite plan for three (n) factors of optimization of multicomponent dispersive systems is analyzed and described, and the homogeneity of the variance is confirmed using the G-criterion (Cochrane) at a fixed significance level of α (0.05). The significance of the statistical model and the reliability of the regression equation were determined using the Fisher F test. An organoleptic evaluation and determination of the acidity and viscosity of each yogurt recipe composition were performed with the addition of different amounts of dry freeze dried strawberry powder. The evaluation was carried out in the course of the experiment by analytical methods and the method of developed profile analysis on a point scale. After studying the obtained graphical data, the results of direct measurements and interpretation of the regression equation, the optimal recipe composition of yoghurt with the addition of strawberry powder as a filler identified the sample that has the best performance of active and titrated acidity and viscosity during 14 days of organoleptic evaluation 14,25.

Key words: yogurt, strawberry powder, filler, acidity, viscosity, optimization, orthogonal center-composite plan.

УДК 641,887:661.691

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/20>**Головко М.П.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Головко Т.М.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Применко В.Г.Відокремлений підрозділ «Дніпровський факультет менеджменту і бізнесу
Київського університету культури»**Геліх А.О.**

Сумський національний аграрний університет

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ГІРЧИЦІ, ЗБАГАЧЕНОЇ СЕЛЕНОМ

У статті досліджуються перспективи використання добавки дієтичної селен-білкової (ДДСБ) у технологіях харчової продукції. На основі попередніх досліджень розроблено технологію гірчиці «Селенова» із використанням ДДСБ «Неоселен». Встановлено, що виробництво нового соусу не потребує переобладнання традиційного машино-апаратурних комплексів технологічного обладнання, таким чином не залучаючи додаткових капітальних інвестицій.

Досліджено органолептичні, фізико-хімічні показники якості розробленої продукції. Так, гірчиця «Селенова» відповідає вимогам ДСТУ 1052:2005. Оцінювання органолептичних показників якості розробленої соусної продукції експертним методом доводить перспективність її виробництва. Так, за результатами опитування експертної дегустаційної комісії Харківського державного університету харчування та торгівлі гірчиця «Селенова» за базовими органолептичними показниками якості (зовнішній вигляд, консистенція, колір, запах та смак) отримала усереднену оцінку 4,9 балів ($\max=5,0$).

Досліджено мікробіологічні показники соусу із ДДСБ впродовж стандартних термінів придатності (45 діб). ДДСБ «Неоселен» має позитивний вплив на мікробіологічні показники якості соусів, що доведено однаковими результатами досліджень для соусів із добавкою та без неї. Виявлено антагоністичний вплив ДДСБ на досліджувані групи патогенних мікроорганізмів. Це додатково підтверджує доцільність використання ДДСБ у технології соусів.

Методиками визначення конкурентопридатності доведено перспективність виробництва та реалізації селен-збагаченого соусу. Встановлено високу перспективність розробленої продукції за комплексним показником якості, прийнятним рівнем собівартості, патентної захищеності та задоволення потреб споживачів – $ПК=94,6$ од. ($ПК_{\text{еталон}}=100$ од.).

Розроблено практичні рекомендації щодо застосування гірчиці «Селенова» у оздоровчому та лікувально-профілактичному харчуванні при Se-дефіцитних станах населення. Визначено рекомендовані норми вживання гірчиці «Селенова» (1 ст. л. / добу) з метою підтримання середньодобового рівня споживання Se в межах 55...70 мкг.

Ключові слова: сироватка молочна, селен, добавка дієтична селен-білкова, соуси, гірчиця.

Постановка проблеми. Нестача або надлишок тих чи інших есенціальних речовин у харчовому раціоні людини негативно впливає на її стан здоров'я. Серед особливо дефіцитних виділяють органічні сполуки селену – потужного канцеропротектору, регулятора обмінних процесів, антиоксиданту, антимутагену. Тому актуальним напрямком наукових досліджень в галузі харчування є розробка та впровадження нового підходу до проектування рецептур харчових продуктів, збалансованих за нутрієнтним складом, особливо

страв щоденного вжитку. До таких страв належать соуси.

Сучасний ринок соусів дуже різноманітний і гнучкий. Найпоширенішими на ринку України є такі їх різновиди, як гірчиця або гірчичний соус, майонез та кетчуп або томатний соус. Гірчиці характеризуються досить стійким попитом у населення України; динаміка коливань темпів приросту на їх ринку носить досить сталий характер. Ця товарна група має високу харчову та біологічну цінність [1, с. 10–15].

Гірчиці характеризуються високими споживними властивостями, засвоюваністю, можливістю регулювання хімічного складу, харчової та біологічної цінності, калорійності, технологічних та функціональних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, пов'язані із науковим обґрунтуванням і розробленням технологій емульсійних продуктів оздоровчого та лікувально-профілактичного призначення, досліджувались багатьма провідними вітчизняними та зарубіжними вченими.

Відомий спосіб приготування соусів, переважно гірничних заправок і салатних приправ, що передбачає змішування гірничного порошку, солі, цукру, перцю чорного меленого з додаванням в суміш при перемішуванні 3%-ого оцту і рослинної олії, до якого додатково вносять борошно насіння кавуна в кількості 80% від суміші гірничного порошку, потім суміш з'єднують з іншими компонентами до введення оцту. Винахід дозволяє підвищити стійкість і харчову цінність гірничного соусу, поліпшити консистенцію, смак і колір, знизити на 9–53% його калорійність. Однак застосування такого способу не вирішує питання збагачення продукту харчування есенціальними мікроелементами, а направлене на поліпшення структурно-механічних показників якості продукту та зниженні його калорійності [2, с. 1–7].

Розроблено також технологію гірчиці, спосіб виробництва якої передбачає підготовку рецептурних компонентів, їх набухання, змішування. Але, використання даного способу дозволяє знизити адгезію до стінок тари одержуваного цільового продукту і підвищити його стійкість до розшарування в процесі зберігання, не вирішуючи питання підвищення харчової та біологічної цінності соусу [3, с. 1–4].

Відомий також спосіб виробництва гірчиці «Бутербродна», за рахунок якого розширюється асортимент гірчиць [4, с. 1–3]. Однак, продукт містить невластиві «класичній» гірчиці компоненти (томатна паста із вмістом сухих речовин 30%, синтетичні стабілізатори тощо), що в кінцевому результаті призводить до появи нестандартних органолептичних показників і не вирішує проблеми селенодефіциту.

Тож актуальним є збагачення харчової продукції білок-селеновими комплексами, що складають основу розробленої нами дієтичної добавки селен-білкової «Неоселен» [5, с. 1–4]. ДДСБ містить у своєму складі органічні сполуки селену, що є продуктами хімічної взаємодії між селеновими солями та глобулярними білками молочної сироватки.

ДДСБ може бути використана не тільки у якості джерела вищезгаданого нутрієнта, а також як емульгатор дисперсної системи. Її введення до соусу не повинно негативно впливати на органолептичні показники його якості, має підвищувати емульсійну стійкість, збільшувати вміст органічного селену, що і зумовлює актуальність означених досліджень.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення технології гірчиці, збагаченої селеном шляхом застосування ДДСБ «Неоселен». Для досягнення мети сформувано низку завдань:

- дослідити перспективи використання ДДСБ у технологіях харчової продукції;
- розробити технологію соусу із використанням ДДСБ;
- визначити органолептичні, фізико-хімічні показники якості соусу та показники його безпечності;
- розробити рекомендації щодо використання соусу в оздоровчому та лікувально-профілактичному харчуванні;
- дослідити показники конкурентопридатності розробленого соусу.

Дослідження проводилися на базі сучасних наукових лабораторій Харківського державного університету харчування та торгівлі, ВП «Дніпровський факультет менеджменту і бізнесу КУК» та Сумського національного аграрного університету.

Реалізація конкурентопридатності розробленої гірчиці була вирішена за допомогою лінійного програмування з використанням редактора MS Excel [6, с. 92–100].

Виклад основного матеріалу дослідження. Нами була розроблена рецептура гірчиці «Селенова», прототипом якої є технологія гірчиці харчової традиційного виробництва. До складу розробленого соусу додано ДДСБ «Неоселен» в якості функціонально-фізіологічного компонента і стабілізатора дисперсної системи.

Технологічну схему приготування гірчиці «Селенова» наведено на рис. 1. Технологічна система одержання гірчиці «Селенова» подана як цілісна система, в межах якої виділено підсистеми D, C₁, C₂, C₃, C₄, B, A. Функціонування даних підсистем скероване на одержання вихідного результату функціонування системи – отримання гірчиці, збагаченої селеном.

Утворення структури соусів «Селенових» відбувається за рахунок функціональних властивостей ДДСБ, підготовка складових яких відбувається в рамках підсистеми D. Сипкі інгредієнти

(гірчичний порошок, цукор білий, сіль, ДДСБ тощо) просіюються, рідкі – проціджуються. Далі вони дозуються, вносяться у заданих співвідношеннях до рецептурних сумішей згідно технології приготування того чи іншого соусу, в результаті чого утворюються підсистеми «Напівфабрикат» (підсистема С).

Цілі функціонування окремих підсистем наведено в табл. 1.

Зазнаючи подальших змін через вплив гідромеханічних процесів (гомогенізації, емульгування, диспергування, перемішування) та

спеціальної теплової обробки (пастеризації), підсистеми напівфабрикати С₁, С₂, С₃, С₄ набувають відповідних органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних показників якості та структурно-механічних властивостей, утворюючи підсистеми «Напівпродукт» (підсистема В). У межах підсистем А продукція фасується та пакується, зберігається до моменту її реалізації.

Проведено оцінювання органолептичних показників якості розробленої соусної продукції, що доводить перспективність її виробництва експертним методом. Так, за результатами

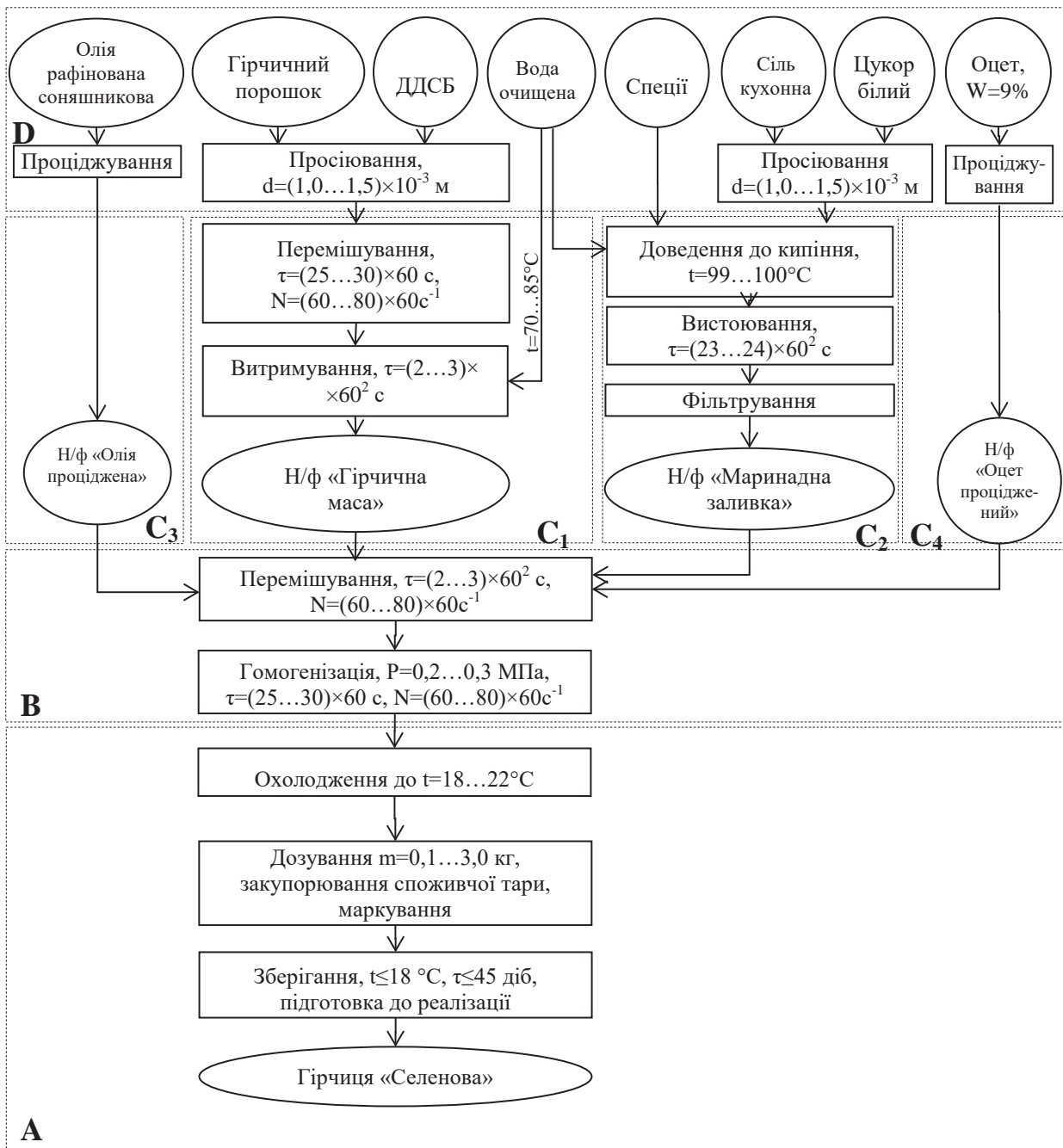


Рис. 1. Технологічна схема приготування гірчиці «Селенова»

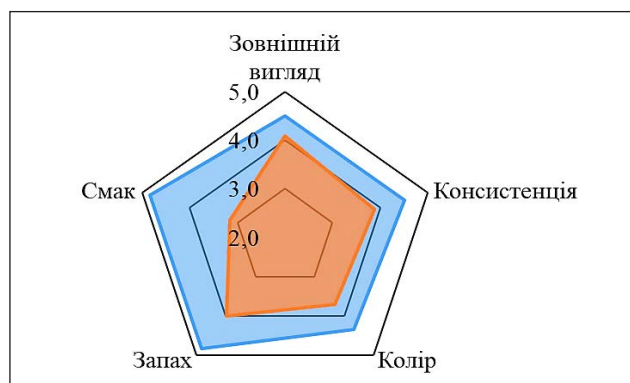


Рис. 2. Органолептичний профіль гірчиці «Селенова» із ДДСБ «Неоселен»

опитування експертної дегустаційної комісії ХДУХТ гірчиця «Селенова» за базовими органолептичними показниками якості отримала усереднену оцінку 4,9 балів (max=5,0). На профілі (рис. 2) наведено органолептичні показники гірчиці «Селенова».

Описання органолептичних показників якості соусу відповідають вимогам ДСТУ 1052:2005 [7] (табл. 2).

Таким чином, введення до рецептури соусів ДДСБ «Неоселен» у кількостях, що відповідають половині добової потреби в селені, не впливає на їх органолептичні показники. Це, у свою чергу, зумов-

Таблиця 1

Характеристика підсистем гірчиці «Селенова»

Позначення підсистеми	Найменування підсистеми	Мета функціонування підсистеми
A	Харчовий продукт «Гірчиця «Селенова»	Підготовка до реалізації та одержання харчового продукту із заданими властивостями та складом
B	Одержання напівфабрикату «Гірчиця «Селенова»	Послідовне здійснення операцій з отримання напівпродукту: гомогенізація харчової суміші для стабілізації її структурно-механічних властивостей (рівномірного розподілення зважених частинок), регулювання її органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних показників якості
C ₁	Одержання напівфабрикату «Гірчична маса»	Ферментування гірчичного порошку (визрівання). Отримання напівфабрикату, підготовленого до подальшої обробки, зниження мікробіологічного обсіменіння
C ₂	Одержання напівфабрикату «Маринадна заливка»	Створення умов для повноцінної екстракції ароматичних та смакових речовин із сировини до напівфабрикату, зниження мікробіологічного обсіменіння
C ₃	Одержання напівфабрикату «Олія проціджена»	Отримання напівфабрикату, підготовленого до подальшої обробки, видалення грубих часток із рідин
C ₄	Одержання напівфабрикату «Оцет проціджений»	Отримання напівфабрикату, підготовленого до подальшої обробки, видалення грубих часток із рідин
D	Підготовка компонентів	Дозування сипких інгредієнтів, видалення грубих часток із суміші

Таблиця 2

Органолептичні показники гірчиці «Селенова»

Назва показника	Характеристика	
	Контроль	Гірчиця «Селенова»
Смак і запах	Притаманні конкретній назві гірчиці (гострий; середньо-гострий; солодкувато-пряний; м'який, середньо-гострий тощо) без стороннього присмаку і запаху	
Консистенція	Однорідна, густа, мастка маса без грудок і сторонніх включень та домішок	
Колір	Властивий конкретній назві гірчиці. Від світло-жовтого до жовтого, допустимо коричневий відтінок та інші відтінки, притаманні сировині, що використовується	

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники якості гірчиці «Селенова»

№ з/п	Найменування показників	Характеристика гірчиці
1	Масова частка жиру, %	8,3±0,2
2	Масова частка вологи, %	26,5±0,5
3	Кислотність у перерахунку на оцтову кислоту, %	2,4±0,4
4	Масова частка розчинних сухих речовин, %	35,2±0,5
5	Масова частка селену для соусу, мкг/100 г, із ДДСБ «Неоселен»	105,0±0,5

лює їх конкурентну спроможність на ринку аналогічної продукції та сприяє формуванню попиту на неї у потенційної споживацької аудиторії.

ДДСБ «Неоселен» додавали до соусу в гідратованому вигляді для кращого її розподілення в емульгуючій основі. ДДСБ додавали з урахуванням фізіологічної потреби організму людини в селені.

Фізико-хімічні показники якості гірчиці «Селенова» наведені у табл. 3.

Виробництво гірчиці «Селенова» не потребує переобладнання традиційного машино-апаратурного комплексу технологічного обладнання, таким чином не потребує залучення додаткових капітальних інвестицій.

Нами досліджувались також мікробіологічні показники розробленої гірчиці. ДДСБ «Неоселен» має позитивний вплив на мікробіологічні показники якості соусу, про що свідчать однакові результати досліджень для соусів із добавкою та без неї. ДДСБ чинить антагоністичний вплив на досліджувані групи патогенних мікроорганізмів. Це додатково підтверджує доцільність використання ДДСБ у технології емульсійних соусів.

Результати спостережень за мікробіологічними показниками якості зразків соусів наведені в табл. 4.

У табл. 5 представлені дані узагальненої оцінки конкурентопридатності гірчиці «Селенова». Розробка відрізняється кращими показниками якості, патентної захищеності, рівня задоволеності потреб споживачів та собівартості, ніж контрольний зразок.

Спираючись на дані табл. 5, побудовано модель конкурентопридатності гірчиці із ДДСБ «Неоселен» (рис. 3).

З рис. 3 видно, що гірчиця «Селенова» з ДДСБ «Неоселен» є високоперспективною продукцією, яка має найвищий у порівнянні із контролем комплексний показник якості, економічно вигідний рівень собівартості, патентної захищеності та задоволення потреб споживачів.

Гірчицю, збагачену селеном, рекомендовано до вживання при лікувально-профілактичній дієті №10: захворювання серцево-судинної системи при недостатньому кровообігу, при інфаркті міокарда, гіпертонії, ішемічній хворобі серця, атеросклерозі судин серця, головного мозку та інших

Таблиця 4

Мікробіологічні показники соусу із ДДСБ «Неоселен» та контрольних зразків

Найменування показника	Соус із ДДСБ та контрольний зразок		
	Термін зберігання		
	1 день	1 тиждень	45 діб
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), в 0,01 г	Не виявлені		
Патогенні мікроорганізми в тому числі бактерії роду Salmonella, в 25 г	Не виявлені		
Дріжджі, КУО в 1 см ³	менше ніж 1×10	1×10	1×10 ²
Плісняві гриби, КУО в 1 см ³	Не виявлені		

Таблиця 5

Узагальнена оцінка конкурентопридатності гірчиці «Селенова»

Показник	Коефіцієнт вагомості, т, од.	Еталон	Оцінка зразків гірчиці	
			Контроль	«Селенова» із ДДСБ «Неоселен» (дослід)
Комплексний показник якості	0,43	100,00	65,86	92,96
Рівень собівартості	0,24	100,00	100,00	47,75
Патентна захищеність	0,15	100,00	33,00	67,00
Рівень задоволення потреб споживачів	0,18	100,00	77,00	84,50
Комплексний показник конкурентопридатності, од.	-	100,00	63,24	94,60
Характеристика конкурентопридатності продукції	-	Високоперспективна продукція	Малоперспективна продукція	Високоперспективна продукція

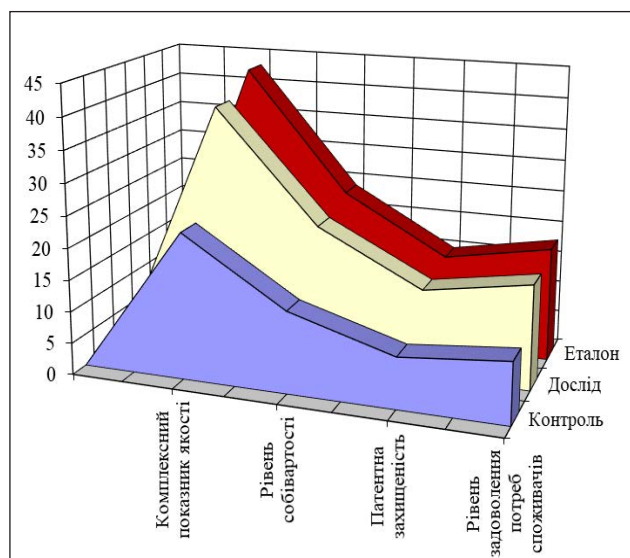


Рис. 3. Модель конкурентопридатності гірчиці із ДДСБ: ПК – показник конкурентопридатності, од.; m – вагомість i -го показника конкурентопридатності, од.

органів. Також рекомендовано вживати гірчицю при дієті, пов'язаній із онкозахворюваннями, оскільки вона здійснює функціональний вплив на стан систем, вражених хворобою.

Введення 71 мг ДДСБ на 100 г соусу дає змогу однією столовою ложкою гірчиці «Селенова» (1 ст. л. гірчиці відповідає 14 г соусу) компенсувати 50% добової потреби організму людини в селені.

Висновки. Отже, вдосконалення технології гірчиць за рахунок збагачення їх селен-білковими добавками є обґрунтованим та актуальним в умовах загального селенодефіциту. Розроблена продукція є високоперспективною за комплексним показником якості, прийнятним рівнями собівартості, патентної захищеності та задоволення потреб споживачів. Отримані дані складають основу для практичного впровадження технології виробництва гірчиці, збагаченої селеном, на підприємствах ресторанного господарства і харчової промисловості.

Список літератури:

1. Применко В.Г. Технології добавок дієтичних селен-білкових та соусів з їх використанням : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / Харк. держ. ун-т харчування та торг. Харків, 2019. 330 с.
2. Пат. RU 2 571 850 C2, МПК А 23 L 1/39. Спосіб приготування горчичного соусу / Артемова Е. Н., Власова К. В., Гольшєва А. В. № 2014107593/13; заявл. 27.02.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.
3. Пат. RU 2 512 467 C1, МПК А 23 L 1/225. Спосіб виробництва горчиці бутербродной / Квасєнков О. І., Петров А. Н. № 2012153003/13; заявл. 10.12.2012; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10.
4. Пат. RU 2 143 210 C1, МПК А 23 L 1/225. Горчица «Бутербродная» / Посокина Н. Е., Тамкович С. К., Степанищева Н. М., Горєньков Э. С. № 98117480/13; заявл. 16.09.1998; опубл. 27.12.1999.
5. Спосіб одержання біологічно активної добавки «Неоселен»: пат. на корисну модель 104883 Україна: МПК А 23 J 1/20, А 61 К 31/095 / Черевк О.І., Головка М.П., Применко В.Г., Головка Т.М.; власник ХДУХТ. № u201507794; заявл. 05.08.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. №4.
6. Тележенко Л.М., Дзюба Н.А., Кашкано М.А., Валєвська Л.О. Основи наукових досліджень : навч. посіб. для вищ. навч. зал. Херсон : Гринь Д.С., 2016. 192 с.
7. ДСТУ 1052:2005. Гірчиця харчова. Загальні технічні умови. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006. 16 с. (Інформація та документація).
9. Проектування закладів ресторанного господарства : навч. посіб. : для вищ. навч. закл. / А.А. Мазаракі, М.І. Пересічний, С.Л. Шаповал та ін. ; за ред. А.А. Мазаракі. 2-е вид., переробл. та допов. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2010. – 340 с.

Golovko M.P., Golovko T.M., Prymenko V.H., Gelikh A.O. THE TECHNOLOGY OF MUSTARD PRODUCTION ENRICHED WITH SELENIUM

The prospects for the use of selenium-protein dietary supplement (SPDS) in food technology are explored at the article. Based on previous research, the technology of mustard “Selenova” production using SPDP “Neoselen” was developed. It is established that the production of the new sauce has not required the conversion of traditional machinery and equipment complexes of technological equipment, thus without attracting additional capital investments.

The organoleptic, physicochemical indicators of the quality of the developed products are investigated. Thus, mustard “Selenova” meets the requirements of DSTU 1052:2005. The estimation of organoleptic indicators of quality of the developed sauce by the expert method proves the prospect of its production. Thus, according to the poll of the expert tasting committee of Kharkiv State University of Food Technology and Trade mustard “Selenova” on basic organoleptic quality indicators (appearance, texture, color, smell and taste) received an average score of 4.9 points (max = 5,0).

The microbiological parameters of sauce with SPDS over standard shelf life (45 days) are investigated. SPDS “Neoselen” has a positive impact on the microbiological indices of the quality of sauce, which is proved

by the same research results for sauces with and without additive. The antagonistic effect of SPDS on the studied groups of pathogens are revealed. This further confirms the expediency of using SPDS in sauce technology.

The prospects for the production and sale of selenium-enriched sauce are proved by the competitiveness method. The high prospect of the developed product according to the complex quality index, acceptable level of cost, patent protection and satisfaction of consumer needs is established – CI = 94.6 units. (C_{etal}=100 units).

The practical recommendations for the use of mustard “Selenova” in wellness and treatment-prophylactic nutrition for Se-deficient status of population are developed. The recommended norms of consumption of mustard “Selenova” (1 tbsp per day) in order to maintain the average daily consumption of Se within 55...70 mcg are defined.

Key words: *milk whey, Selenium, selenium-protein dietary supplement, sauces, mustard.*

Соколовська О.Г.

Одеська національна академія харчових технологій

Валевська Л.О.

Одеська національна академія харчових технологій

Шулянська А.О.

ПрАТ «Укрелеваторпром»

БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ЗЕРНОВИХ СУПЕРФУДІВ

Суперфуди – це продукти з високою концентрацією корисних речовин. Вони містять великі дози вітамінів і мінералів, які захищають організм від хвороб, допомагають вести здоровий спосіб життя і ведуть до довголіття. З кожним роком популярність таких продуктів зростає, оскільки спортсмени, прихильники спеціальних дієт і адепти здорового способу життя роблять вибір на користь натуральних вітамінів.

Селектори до цього моменту перебуваючого в тіні насіння чіа та кіноа зараз пропонують світові нові можливості для поліпшення харчування, забезпечуючи природним джерелом жирних кислот Омега-3, антиоксидантами. Ці культури володіють багатим хімічним складом. Важливою характеристикою хімічного складу насіння кіноа та чіа є високий вміст у ньому білкових речовин.

У роботі наведено визначення показників потенційної біологічної цінності білку: кількісний вміст білку, амінокислотний скор, якісний білковий показник. Проведено розрахунки показників біологічної цінності: коефіцієнт розбалансованості амінокислотного складу, коефіцієнт біологічної цінності та коефіцієнт утилітарності.

Аналіз отриманих даних показує, що амінокислотні СКОРи білків насіння досліджуваних культур або наближені до 100, або значно перевищують цю межу. Для насіння кіноа характерна наявність двох лімітуючих амінокислот: лейцину та валіну. Після визначення амінокислотного складу було проведено розрахунок коефіцієнта розбалансованості амінокислотного складу. На підставі значення коефіцієнта розбалансованості амінокислотного складу визначено біологічну цінність насіння чіа та кіноа. Значення коефіцієнта утилітарності амінокислотного складу насіння чіа свідчить про високу збалансованість амінокислот щодо еталона.

Дані, наведені у статті, дозволяють зробити висновок, що насіння чіа та кіноа може використуватися для виробництва продуктів функціонального призначення.

Ключові слова: суперфуди, насіння чіа, насіння кіноа, біологічні цінності білку, хімічний склад.

Постановка проблеми. Однією з визначальних рис сучасного етапу розвитку суспільства є проблема збереження здоров'я населення. Харчування належить до найважливіших чинників, який протягом усього життя впливає на організм людини.

Проблема поліпшення структури харчування, якості та безпеки харчових продуктів як основи життєдіяльності людини є однією з найважливіших проблем як у межах однієї країни, так і планети Земля загалом. Накопичений світовий досвід показує, що вирішити проблему швидкого корегування структури харчування майже не можливо шляхом простого збільшення обсягів виробництва і розширення асортименту традиційних харчових продуктів. Пошук альтернативних шляхів розв'язання цього надзвичайно важливого завдання привів учених і практиків до ідеї

про необхідність розроблення та реалізації нових, значно досконаліших технологій виробництва харчових продуктів, адекватних за компонентним складом потребам сучасної людини [1].

Ще на початку ХХ століття американська компанія United Fruit Company вперше використала термін «суперфуд» у рамках рекламної компанії. В Україні суперфуди лише нещодавно почали набувати популярності. Спочатку про них заговорили у США, Австралії, Німеччині, Великобританії та Канаді. Суперфуди – це продукти, які містять високу концентрацію поживних речовин і збагачені великою кількістю мікроелементів, вітамінів і мінералів. Зазвичай це екзотичні фрукти, овочі, ягоди, насіння чи зерна, які здатні принести величезну користь для здоров'я. Світовий ринок суперфудів активно розвивається і незмінно зростає. До них належать харчові

продукти, в яких спостерігається висока концентрація корисних речовин, вітамінів, мінералів.

Одними з суперфудів по праву вважаються чіа і кіноа. Вони користуються попитом у багатьох країнах світу. Світова промисловість використовує це насіння при виробництві харчових добавок, сухих зернових сніданків, кондитерських виробів і напоїв, зокрема протеїнових коктейлів, кисломолочних продуктів. Борошно насіння чіа та кіноа включають у хлібобулочні вироби, кондитерські начинки, глазури, желе тощо. Ці культури володіють багатим хімічним складом. За змістом амінокислот, вітамінів і мінералів вони не поступаються таким популярним культурам, як рис, пшоно або гречка.

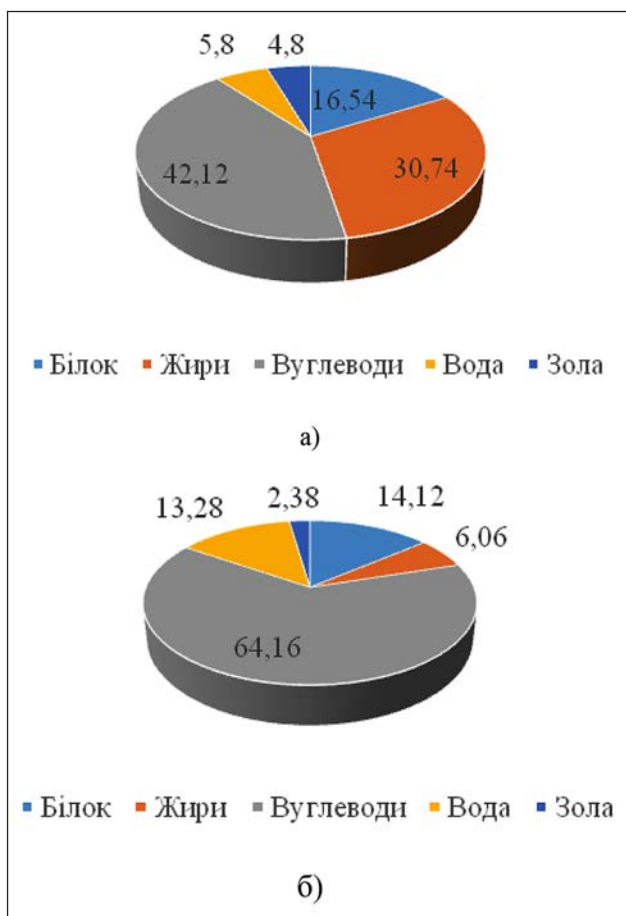


Рис. 1. Хімічний склад насіння кіноа та чіа:
а – насіння кіноа; б – чіа

Важливою характеристикою хімічного складу насіння кіноа та чіа є високий вміст у них білкових речовин 14–22%, з яких замінні амінокислоти складають 12–15%, а незамінні – 7–8%. Вміст амінокислот робить кіноа повноцінним рослинним білковим продуктом. Її вживання ідеально підходить при дієті без м'яса, вегетаріанцям, у якості спортивного харчування, для дієтотерапії

у відновлювальний період після серйозних захворювань. На відміну від тваринного білка, білок у складі кіноа засвоюється дуже швидко і практично повністю, що обумовлює високу живильну цінність зерна.

Хоча в Україні попиту на нішеві культури майже немає, але українські виробники уже кинулись шукати альтернативи класичним культурам. Їх рентабельність іноді у кілька разів вища, тому за останні кілька років посівні площі під екзотичними культурами збільшилися в кілька разів. Велике майбутнє обіцяють експерти і таким культурам, як кіноа і чіа. В Україні до недавнього ці культури не культивувалися взагалі. Однак цього року їх почали сіяти й агрохолдинги, зокрема, засіяно перші тестові поля. Вже в 2020 році планується налагодити вирощування кіноа та чіа у промислових масштабах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними показниками, які характеризують харчову цінність сировини і продуктів, є біологічна, енергетична, фізіологічна цінність і біологічна ефективність. Біологічною цінністю називають показник якості харчового білку, який відображає ступінь відповідності його амінокислотного складу потребам організму в амінокислотах для синтезу білку.

У кожному білку може бути різна кількість амінокислот, складом яких визначається повноцінність білку. У побудові нашого організму беруть участь лише 22 амінокислоти. Організм людини має здатність синтезувати амінокислоти з інших амінокислот, але існують 8 амінокислот (триптофан, лейцин, ізолейцин, валін, треонін, лізин, метіонін, фенілаланін), які організм людини не синтезує, однак вони входять до складу білкових речовин людини. Ці амінокислоти називають незамінними, вони повинні потрапляти до організму з продуктами харчування. Чотири амінокислоти – тирозин, цистеїн, аргінін, гістидин – синтезуються в організмі повільно і не завжди в достатній кількості. Їх називають умовно незамінними. Тому не всі продукти, які містять білки, рівноцінні залежно від вмісту незамінних амінокислот. По цій причині 30% добового білкового раціону людини повинні складати повноцінні білки, які містять усі незамінні амінокислоти. Річна потреба людини у повноцінному білку становить 20 кг. Якщо навіть у склад продукту входить велика кількість білку, але при цьому повноцінність його мала, то такий білковий компонент характеризується низькою харчовою цінністю [2].

На основі багаторічних медико-біологічних досліджень Всесвітня організація охорони здоров'я запропонувала критерій для визначення якості білку – еталону, збалансованого за незамінними амінокислотами, який найбільше задовольняє потреби організму людини. Один грам «ідеального» білку містить (в мг): триптофану – 10, лейцину – 70, ізолейцину – 40, валіну – 50, треоніну – 40, лізину – 55, метіоніну – 35, фенілаланіну – 60 [2–5].

Дефіцит незамінних амінокислот залежить як від якісного складу самої сировини, так і від ступеню впливу на білок різних зовнішніх факторів. При жорстких режимах термічної обробки і лужного гідролізу ряд амінокислот руйнується. Показники потенційної біологічної цінності білку:

- кількісний вміст білку;
- амінокислотний скор (АКС);
- якісний білковий показник (ЯБП).

Формулювання цілей. Метою досліджень є визначення біологічної цінності насіння чіа та кіноа. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити амінокислотний СКОР насіння чіа та кіноа;
- розрахувати показники біологічної цінності: коефіцієнт розбалансованості амінокислотного складу (КРАС), коефіцієнт біологічної цінності (БЦ) та коефіцієнт утилітарності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для оцінки біологічної цінності насіння чіа та кіноа розраховано амінокислотний СКОР (відношення вмісту амінокислот білка продукту до аналогічного показника еталонного білка за даними ФАО/ВООЗ) [6, 7]. Для оцінки ступеня використання білка здійснено розрахунок коефіцієнту розбалансованості амінокислотного складу (КРАС), який є середнім арифметичним різниць СКОРів незамінних амінокислот до СКОРу першої лімітуючої амінокислоти:

$$\text{КРАС} = \sum_{i=1}^8 (I-L) / 8 \quad (1)$$

I – значення амінокислотного СКОРу i-тої амінокислоти, %.

L – значення амінокислотного СКОРу лімітуючої амінокислоти, %.

Розрахунок біологічної цінності насіння чіа здійснювали за формулою

$$\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС} \quad (2)$$

Відомо, що для утворення в організмі людини необхідних білкових елементів під час споживання їх у складі їжі, білки повинні забезпечувати взаємно збалансовані кількості незамінних

амінокислот. Для характеристики цього показника використовують коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу, який характеризує збалансованість незамінних амінокислот по відношенню до фізіологічно необхідної норми ($A_{\text{ет}}$ – еталонного значення ФАО/ВООЗ) [6; 7]. Чим вище значення коефіцієнта утилітарності, тим краще збалансовані амінокислоти у білкових речовинах, тим більш раціонально вони можуть бути використані організмом. Здатність організмом утилізувати амінокислоти визначається мінімальним скором однієї з амінокислот і може бути охарактеризовано значеннями показника утилітарності незамінних амінокислот, який визначається за формулою:

$$\alpha_i = AC_{\text{imin}} / AC_i \quad (3)$$

де, α_i – показник утилітарності i-ої амінокислоти;

AC_{imin} – мінімальний із СКОРів незамінних амінокислот оцінюваного білка по відношенню до фізіологічно необхідної норми (еталону);

AC_i – СКОР i-ої незамінної амінокислоти по відношенню до фізіологічно необхідної норми (еталону).

Показник утилітарності використовується для розрахунку Коефіцієнта утилітарності амінокислотного складу, досить повно відображає збалансованість незамінних амінокислот по відношенню до еталону:

$$U = \frac{AC_{\text{min}} (\sum_{i=1}^8 HAK_{em})}{\sum_{i=1}^8 HAK_k} \quad (4)$$

де AC_{min} – мінімальний зі СКОРів незамінних амінокислот,

– сумарний вміст незамінних амінокислот у білку еталону, мг/г білку.

$\sum_{i=1}^8 HAK_k$ – сумарний вміст незамінних амінокислот у білку продукту, мг/г.

Важливою характеристикою хімічного складу насіння кіноа та чіа є високий вміст у ньому білкових речовин, якість яких характеризується показником біологічної цінності. Чим вища біологічна цінність білка харчових продуктів, тим краще він використовується для синтезу власних білків і функціонування організму. Для оцінки біологічної цінності насіння розраховано кількісний вміст білку в насінні цих культур і їх амінокислотний СКОР (відношення вмісту амінокислот білка продукту до аналогічного показника еталонного білка за даними ФАО/ВООЗ) (табл. 1).

Таблиця 1

Амінокислотний СКОР насіння чіа та кіноа

Амінокислота	Насіння чіа		Насіння кіноа	
	Амінокислотний СКОР, %	Показник утилітарності, α_j	Амінокислотний СКОР, %	Показник утилітарності, α_j
Треонін	91,0	0,99	116,5	0,78
Валін	97,6	0,93	93,6	0,98
Метіонін + цистин	146,0	0,62	144,3	0,63
Ізолейцин	102,8	0,88	158,0	0,58
Лейцин	100,6	0,90	91,4	1,00
Тирозин + фенілаланін	135,0	0,67	171,7	0,53
Триптофан	223,0	0,41	188,0	0,49
Лізин	90,5	1,00	105,5	0,87

Аналіз отриманих даних показує, що амінокислотні СКОРи білків насіння досліджуваних культур або наближені до 100, або значно перевищують цю межу та знаходяться у діапазоні 90,5–223,0%. Найбільший СКОР насіння чіа зафіксовано для триптофану, лімітуючою амінокислотою є лізин, СКОР якого складає 90,5%. Для насіння кіноа характерна наявність двох лімітуючих амінокислот: лейцину та валіну. Значення СКОРу амінокислот, для яких цей показник розраховується парними групами – метіонін-цистеїн і тирозин-фенілаланін, – становлять відповідно 146,0% та 135,0% для насіння чіа та 144,3% і 171,1% для насіння кіноа.

Після визначення амінокислотного складу проведено розрахунок коефіцієнта розбалансованості амінокислотного складу за формулою (1). Отримане значення КРАС для насіння чіа складає 32,76%, для насіння кіноа – 28,16%. На підставі значення КРАС можна визначити біологічну цінність (БЦ) за формулою (2) як різницю 100 та значення КРАС. Отримане значення біологічної цінності 67,24% для насіння чіа та 71,83% для насіння кіноа (табл. 2). Для визначення показника утилітарності використано формулу (3), Отримані значення наведено у табл. 2.

Збалансованість незамінних амінокислот за співвідношенням до фізіологічно необхідної

Таблиця 2

Показники біологічної цінності білків насіння чіа та кіноа

Показник	Насіння чіа	Насіння кіноа
Коефіцієнт розбалансованості амінокислотного складу (КРАС)	32,76	28,16
Біологічна цінності (БЦ)	67,24	71,83
Коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу, U	0,813	0,841

норми чисельно характеризується коефіцієнтом утилітарності. Коефіцієнт утилітарності показує ступінь незасвоюваності амінокислот і є чисельною характеристикою, яка досить повно відображає збалансованість незамінних амінокислот [7]. Значення коефіцієнта утилітарності амінокислотного складу насіння чіа складає 0,813 та 0,841 для насіння кіноа, що свідчить про високу збалансованість амінокислот щодо еталона.

Висновки. Розраховані показники біологічної цінності: коефіцієнт розбалансованості амінокислотного складу (КРАС), коефіцієнт біологічної цінності (БЦ) та коефіцієнт утилітарності. Отримані значення дозволяють зробити висновок, що насіння чіа та кіноа може використовуватися для виробництва продуктів функціонального призначення.

Список літератури:

- Капрельянц Л.В., Іоргачова К.Г. Функціональні продукти. Одеса : Друк, 2003. 312 с.
- Прісс О.П., Кюрчев С.В., Жукова В.Ф., Гапріндашвілі Н.А. Технологічні властивості сировини : навчальний посібник для самостійної роботи студентів. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 224 с.
- Данилова О.І., Решта С.П. Отримання олігомерів із рослинної сировини з антиоксидантними властивостями. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2014. Вип. 46(1). С. 83–88.
- Капрельянц Л.В. Биологическая химия с основами физиологии питания : конспект лекций. Херсон : Изд. Гринь Д.С., 2017. 246 с.
- Павлоцька Л.Ф. Фізіологічні аспекти оцінки якості продуктів : навчальний посібник. Харків : ХДУХТ, 2017. 317 с.

6. Шведюк Д.А., Пасічний В.М., Радзівська І.Г., Мацу Ю.А. Амінокислотний склад і біологічна цінність м'ясних напівфабрикатів із використанням рослинної сировини та білково-жирових емульсій. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*, 2017, т. 19, № 80.

7. Васильев Ф.В., Глотова И.А., Антипова Л.В. К вопросу оптимизации аминокислотного состава поликомпонентных продуктов с использованием методов вычислительной математики. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2002. № 2.С. 58–61.

Sokolovskaya O.H., Valevskaya L.O., Shulyanska A.O. BIOLOGICAL VALUE OF GRAIN SUPERFOODS

Superfoods are products with a high concentration of nutrients. They contain large doses of vitamins and minerals that protect the body from disease, help lead a healthy lifestyle and lead to longevity. Every year, the popularity of such products is increasing, so athletes, adherents to special diets and healthy lifestyle adherents make choices in favor of natural vitamins. Until now, being in the shade, chia seeds and quinoa, now offer the world new opportunities to improve human nutrition by providing a natural source of omega-3 fatty acids, antioxidants. These cultures have a rich chemical composition. An important characteristic of the chemical composition of quinoa and chia seeds is its high protein content.

In the work, the indices of the potential biological value of the protein were determined: quantitative protein content, amino acid score, qualitative protein index. The biological value indices are calculated: the coefficient of unbalance of amino acid composition, the coefficient of biological value and the coefficient of utilization. The analysis of the obtained data shows that the amino acid SCORES of the seed protein of the studied crops are either close to 100 or significantly exceed this limit. Quinoa seeds are characterized by the presence of two limiting amino acids: Leucine and Valine. After determining the amino acid composition, the unbalance coefficient of the amino acid composition was calculated. The biological value of chia and quinoa seeds was determined on the basis of the imbalance factor of amino acid composition.

The utilization coefficient of the amino acid composition of chia seeds testifies to the high balance of amino acids with respect to the standard. The data in the article suggest that chia and quinoa seeds can be used to produce functional products.

Key words: *superfoods, chia seeds, quinoa seeds, biological values of protein, chemical composition.*

УДК 637.577.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/22>**Стріха Л.О.**

Миколаївський національний аграрний університет

Сморочинський О.М.

Херсонський державний аграрний університет

Частоколяний Б.О.

Миколаївський національний аграрний університет

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ І РИЗИКІВ ДЛЯ СИРОВИНИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ НАТУРАЛЬНИХ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ

Аналіз небезпечних факторів проведено з описанням характеристик продукції, процесів, визначенням небезпечних факторів і їх критичних меж. Особливому контролю піддаються санітарні процеси, відмивання обладнання, тари. Встановлено, що джерелом для виникнення небезпечного фактору у м'ясній сировині були інфікована сировина, персонал, механічні ушкодження м'язової тканини. Ці джерела викликали в сировині небезпечні мікробіологічні фактори.

Аналіз небезпечних факторів для сировини показав, що існують різні джерела забруднення: недостатня концентрація миючих і дезінфікуючих речовин, недостатнє відмивання, порушення температурних режимів, персонал, розвиток фонові мікрофлори при порушеннях температурних режимів і часу, надмірна кількість посолочних компонентів.

Встановлені контрольні заходи: щозмінний контроль якості відмивання, контроль змивів після відмивання, періодичний контроль індикаторами якості відмивання миючих і дезінфікуючих розчинів, регулярний медичний огляд персоналу, навчання персоналу, щоденний допуск персоналу до роботи, контроль температурних режимів, контроль термінів придатності.

Встановлено мікробіологічний тип небезпечного фактору: охолоджена сировина, посолочні інгредієнти, вода для приготування розсолу. Джерелом патогенної мікрофлори може бути інфікована сировина та санітарний стан обладнання. Ступінь ризику у цих критичних контрольних точках для охолодженої м'ясної сировини становив 6–8, тип контролю – 2. Встановлено цільові межі для небезпечних факторів: наявність відповідних документів на сировину, що підтверджують її якість; температурний режим 0–2°C; цілісність упаковки; наявність коректного маркування.

Обов'язковим є постійне визначення якості готової продукції та наявність документів, які засвідчують якість м'ясних виробів. Дотримання вимог стандарту 22000:2018 дозволило розробити, впровадити і підтримувати у робочому стані систему менеджменту безпеки м'ясних продуктів на підприємстві.

Ключові слова: натуральні м'ясні вироби, небезпечний фактор, аналіз ризиків, критичні контрольні точки, цільові межі, моніторинг, дерево прийняття рішень.

Постановка проблеми. Науково обґрунтовані підходи до систем управління безпечністю харчових продуктів є необхідною умовою функціонування системи офіційного контролю у будь-якій країні світу. Все більшої суспільної уваги набуває саме якість і безпека життя людини. Це вимагає від учасників ринкових відносин упровадження кардинально нових підходів до вирішення проблем захисту споживача в умовах поглиблення світових тенденцій до глобалізації, загострення конкуренції та розширення ринків збуту.

Реформування традиційної системи управління безпечністю харчовими продуктами в Україні є нагальною проблемою. Наявні під-

ходи не можуть вважатися достатньо ефективними, оскільки не визначають і адекватно не вирішують багатьох існуючих проблем, не можуть забезпечити ефективне реагування на швидкий розвиток і зміни, які приносять імовірні ризики, не завжди враховують під час прийняття рішень наукові дані, не охоплюють і не розповсюджують їх на весь харчовий ланцюг. Дотримання вимог ISO 22000:2018 перш за все дозволить конкретному підприємству розробити, впровадити і підтримувати у робочому стані систему менеджменту безпеки харчових продуктів, метою якої є збереження безпечності харчової продукції для здоров'я кінцевого споживача за умови

її вживання у співвідношенні із запланованим використанням [1, 2].

Найбільше визнання в світі з позицій результативності управління короткостроковими ризиками, пов'язаними з харчовою продукцією, отримала система НАССР, яка дозволяє ідентифікувати можливі небезпеки, оцінювати пов'язані з ними ризики і управляти тими небезпеками, які є важливими для збереження безпеки харчових продуктів [4].

Постановка завдання. Метою досліджень було встановлення ймовірних ризиків у процесі виконання технологічних операцій виробництва м'ясних продуктів. Небезпечні фактори оцінювали за мікробіологічними, хімічними та фізичними показниками. Для розроблення заходів управління безпечністю продукції власного виробництва використовували настанови з НАССР, схеми приготування кулінарної продукції, вимоги міжнародного стандарту ISO 22000:2018 [3]. Кожний із ризиків на конкретному етапі виробництва м'ясних виробів було оцінено за 5-бальною шкалою [5]. У розрахунках використовували показники ймовірності та значимості. Отримані результати класифікували за ступенями ризику: 1–4 – теоретичний ризик; 5–9 – реальний ризик; 10–12 – високий ризик; 15–20 – критичний ризик. Кожному ступеню ризику відповідає свій рівень контролю. Всі ризики, які мають реальний ступінь ризику (більше 4 балів), є значимими. Вони були проаналізовані згідно моделі «дерева» рішень [6].

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведено аналіз небезпечних факторів під час підготовки сировини до виконання основних операцій (табл. 1).

Обґрунтовано, що в процесі виробництва м'ясних виробів обов'язково необхідно здійснювати вхідний контроль основної сировини та допоміжних матеріалів. Також обов'язково перевіряються і контролюються умови, за яких проводиться попереднє зберігання сировини та матеріалів. Особливому контролю піддаються санітарні процеси (відмивання обладнання, тари та контейнерів).

Встановлено, що на етапі підготовки виникнення небезпечного фактору у м'ясній сировині обумовлено інфікованою сировиною, персоналом, механічними ушкодженнями м'язової тканини. Ці джерела викликали в сировині прояв таких небезпечних факторів, як мікробіологічні та наявність патогенної мікрофлори.

Згідно нормативної документації у сировині не повинні міститися сальмонела, бактерії групи кишкової палички; сторонні хімічні сполуки (антибіотики), важкі метали. Не допустиме перевищення концентрації барвників і консервантів, які можуть спричинити важкі отруєння споживачів; наявність фізичних домішок, до яких належать сторонні включення у м'язовій тканині (цвяхи, дерев'яні тріски та інше), які можуть призвести до травмування органів травлення людини.

Автори вважають, що обов'язковим є проведення аналізу ризиків на етапі підготовки сиро-

Таблиця 1

Аналіз небезпечних факторів на етапі підготовки сировини

Показник	Небезпечний фактор		
	тип	назва	джерело
Охолоджена м'ясна сировина	М	патогенна мікрофлора	інфікована сировина, персонал
	Х	сторонні хімічні сполуки (антибіотики)	сировина (залишки препаратів після лікування тварин)
	Ф	сторонні включення у м'язовій тканині сторонні включення (цвяхи, дерев'яні тріски, мішковина)	механічні ушкодження м'язової тканини неякісні реагенти, пошкодження упаковки
Сира вода	М	цвіль, дріжджі, патогенна мікрофлора	забруднення, тріщини в трубі, санітарний стан обладнання
	Х	важкі метали, пестициди	тріщини в трубі, забруднення поверхневими водами, застій води в оцинкованій трубі
	Ф	сторонні включення	пошкодження фільтру, пошкодження матеріалу труби
Посолочні інгредієнти	М	цвіль, дріжджі, патогенна мікрофлора	сировина
	Х	важкі метали, перевищення концентрації складників розсолу	сировина
	Ф	сторонні включення	сировина

вини з метою встановлення оцінки впливу фактору, ймовірності його виникнення та значимості. Аналіз небезпечних факторів для процесів підготовчого циклу свідчить, що існують різні джерела забруднення: недостатня концентрація миючих і дезінфікуючих речовин, порушення температурних режимів, розвиток фонові мікрофлори при порушеннях температурних режимів, надмірна кількість посолочних компонентів, недостатнє відмивання інвентарю та обладнання від миючих і дезінфікуючих речовин.

У процесі досліджень автори визначали небезпечні фактори та запобіжні дії для процесів підготовчого циклу. Визначено рівень контролю фактору та розроблено контрольні заходи для сировини: обов'язковий вхідний контроль сировини, наявність документів, які засвідчують якість ковбасних виробів, періодичний контроль сировини на показники безпеки та навчання персоналу (табл. 2). Небезпечними факторами була патогенна мікрофлора, МАФМ, залишкові миючі та дезінфікуючі речовини, тальк, поліетилен, полістирол.

Джерелами небезпечних факторів слугували недостатня концентрація миючих і дезінфікуючих речовин, порушення температурних режимів, недостатнє відмивання інвентарю та обладнання від дезінфікуючих речовин; розвиток фонові мікрофлори при порушеннях температурних режимів і часу (табл. 3).

Дослідженнями встановлено небезпечні фактори для процесів підготовчого циклу, ступінь ризику та рівень контролю (табл. 4).

Запропоновані контрольні заходи: контроль якості відмивання із застосуванням миючих і дезінфікуючих розчинів, контроль температурних режимів, допуск і медогляд персоналу згідно інструктивних документів, навчання, візуальна інспекція процесів. Встановлені контрольні заходи: щозмінний контроль якості відмивання, контроль змивів після відмивання (кожні 10 днів), періодичний контроль індикаторами якості відмивання миючих і дезінфікуючих розчинів, контроль термінів придатності.

Визначено критичні контрольні точки для м'ясної сировини, посолочних інгредієнтів, води та рекомендовано шлях прийняття рішення для кожної стадії процесу, групи сировини та матеріалів (табл. 5).

Визначено мікробіологічний тип небезпечного фактору: охолоджена сировина, посолочні інгредієнти, вода для приготування розсолу. Джерелом патогенної мікрофлори може бути інфікована сировина та санітарний стан обладнання. Ступінь ризику відповідає 6–8, тип контролю – 2, тобто ці точки можна визначити як Критичні Контрольні Точки.

Висновки. Впровадження міжнародного стандарту 22000:2018 у виробництво є фундаментом для забезпечення стабільного випуску продукції відповідно до встановлених вимог з урахуванням потреб споживачів. Встановлено цільові межі для небезпечних факторів: наявність документів на сировину, які підтверджують її якість; температурний режим 0–2°C; цілісність пакування; наявність коректного маркування.

Таблиця 2

Аналіз ризиків на етапі підготовки сировини

Показник	Оцінка впливу фактору			Ступінь ризику	Рівень контролю	Контрольні заходи
	тип фактору	імовірність	значимість			
Охолоджена м'ясна сировина	М	3	2	6	2	вхідний контроль, наявність документа про якість, періодичний контроль сировини на показники безпеки, навчання персоналу
	Х	2	2	4	1	
	Ф	1	4	4	1	
Сира вода	М	3	2	6	2	вхідний контроль, наявність документа про якість, періодичний контроль сировини на показники безпеки, навчання персоналу
	Х	2	2	4	1	
	Ф	1	4	4	1	
Посолочні інгредієнти	М	1	4	4	1	сертифікати на сировину, вхідний контроль
	Х	1	4	4	1	
	Ф	1	2	2	1	

Аналіз небезпечних факторів для процесів підготовчого циклу

Показник	Небезпечний фактор		
	Тип	Назва	Джерело
Відмивка обладнання	М	патогенна мікрофлора	недостатня концентрація миючих і дезінфікуючих речовин
	Х	залишкові миючі та дезінфікуючі речовини	недостатня відмивка
	Ф	ризик відсутній	
Зберігання сировини	М	МАФАМ	порушення температурних режимів
	Х	ризик відсутній	–
	Ф	ризик відсутній	–
Обвалювання	М	патогенна мікрофлора, БГКП	персонал
		МАФАМ	розвиток фонові мікрофлори при порушеннях температурних режимів і часу
	Х	залишкові миючі та дезінфікуючі речовини, тальк	недостатнє відмивання інвентарю та обладнання від миючих і дезінфікуючих речовин, тальк із гумових рукавичок
Приготування розсолу	М	патогенна мікрофлора, БГКП	персонал
		МАФАМ	розвиток фонові мікрофлори при порушеннях температурних режимів і часу
	Х	підвищена концентрація	надмірна кількість посолочних компонентів
Ін'єктування сировини	М	патогенна мікрофлора, БГКП, МАФАМ	персонал, розвиток фонові мікрофлори при порушеннях температурних режимів і часу
		Х	залишкові миючі та дезінфікуючі речовини
	Ф	поліетилен, полістирол	залишки упаковки
Масування сировини	М	патогенна мікрофлора, БГКП, МАФАМ	персонал, розвиток фонові мікрофлори при порушеннях температурних режимів і часу
	Х	залишкові миючі та дезінфікуючі речовини	недостатнє відмивання інвентарю та обладнання від миючих і дезінфікуючих речовин

Таблиця 4

Аналіз ризиків для процесів підготовчого циклу

Показник	Тип небезпечного фактору	Оцінка впливу		Ступінь ризику	Рівень контролю	Контрольні заходи
		імовірність	значимість			
Відмивання обладнання	М	1	4	4	1	щозмінний контроль якості відмивки
	Х	1	4	4	1	періодичний контроль індикаторами якості відмивання миючих і дезінфікуючих розчинів
Зберігання сировини	М	3	2	6	2	контроль температурних режимів
Обвалювання	М	2	4	8	2	щоденний допуск персоналу до роботи, контроль температурних режимів і часу обвалювання, контроль термінів придатності
	Х	1	4	4	1	дотримання режимів відмивання, інспекція інвентарю і обладнання, тренінг персоналу
	Ф	1	4	4	1	візуальна інспекція, використання рукавичок
Приготування розсолу	М	2	4	8	2	регулярний медогляд персоналу, навчання персоналу, щоденний допуск персоналу до роботи
Ін'єктування сировини	М	2	4	8	2	регулярний медогляд персоналу, щоденний допуск персоналу до роботи, контроль температурних режимів і часу процесу
	Х	1	4	4	1	дотримання режимів відмивання, інспекція інвентарю та обладнання
Масування сировини	М	2	4	8	2	регулярний медогляд, навчання та щоденний допуск персоналу до роботи, контроль температурних режимів і тривалості процесу
	Х	1	4	4	1	дотримання режимів відмивання, інспекція інвентарю та обладнання

Визначення ККТ на етапі підготовки сировини

Показник	Небезпечний фактор			Ступінь ризику	Тип контролю	Висновок
	тип	назва	джерело			
Охолоджена сировина	М	патогенна мікрофлора у сальмонелли, БГКП	інфікована сировина	8	2	ККТ
Посолочні інгредієнти	М	перевищення концентрації	сировина	6	2	ККТ
Вода для приготування розсолу	М	патогенна мікрофлора	санітарний стан обладнання	6	2	ККТ

Список літератури:

1. Борисовская Э.Н., Максимова З.Н. Разработка и внедрение системы собственного контроля, основанной на принципах HACCP. СПб : ФГУ. 2017. С. 231–234.
2. Горожанина Е.С. Экспериментальные подходы к оценке безопасности и качества мясной продукции. Мясные технологии. 2018. № 1. С. 12–15.
3. ISO 22000:2018 Food safety management systems. Requirements for any organization in the food chain.
4. Дуглай В.С. Якість та безпека харчової продукції. К. : Знання, 2017. С. 119–121.
5. Зонин В.Г. Современное производство колбасных и солено-копченых изделий. СПб : Профессия. 2013. С. 220–224.
6. Christine L. Bedillion. Integration of HACCP and Quality anagement Systems. *Views from a Registrar. NSF International*, May 4, 2016. 192 p.
1. Borisovskaya E.N., Maksimova Z.N. Razrabotka i vnedrenie sistemy sobstvennogo kontrolya, osnovannoj na principah NASSR. SPb : FGU. 2017. S. 231–234.
2. Gorozhanina E.S. Eksperimentalnye podhody k ocenke bezopasnosti i kachestva myasnoj produkcii. Mjasnye tehnologii. 2018. № 1. S. 12–15.
3. ISO 22000:2018 Food safety management systems. Requirements for any organization in the food chain.
4. Duglaj V.S. Yakist ta bezpeka harchovoyi produkciji. K. : Znannya, 2017. S. 119–121.
5. Zonin V.G. Sovremennoe proizvodstvo kolbasnyh i soleno-kopchenyh izdelij. SPb : Professiya. 2013. S. 220–224.
6. Christine L. Bedillion. Integration of HACCP and Quality anagement Systems. *Views from a Registrar. NSF International*, May 4, 2016. 192 p.

Striha L.O., Smorochinskij O.M., Chastokolyanij B.O. THE ANALYSIS OF HAZARDOUS FACTORS AND RISKS FOR RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF NATURAL MEAT PRODUCTS

Hazardous factors analysis was performed with description of product characteristics, processes, identification of hazardous factors and their critical limits. Sanitary processes, washing of equipment, containers are subject to special control. It was established that the source for the occurrence of a dangerous factor in meat raw materials were: infected raw materials, personnel, raw materials, mechanical damage to muscle tissue. These sources have caused such dangerous microbiological factors in the raw material.

Analysis of hazardous factors for raw materials showed that there are various sources of contamination, such as: insufficient concentration of detergents and disinfectants, insufficient washing, violations of temperature regimes, personnel, development of background microflora in violation of temperature regimes and time, excessive amount of curing components. The proposed control measures are: quality control of washing with the use of detergents and disinfectants, temperature control, personnel tolerance, training, visual inspection of processes.

Control measures have been established: daily washing quality control, washing after washing, periodic monitoring of washing and disinfectant washing quality indicators, regular staff inspections, staff training, daily staff admission, temperature control, expiration date control.

The microbiological type of hazardous factor is established: chilled raw materials, curing ingredients, water for brine preparation. The source of pathogenic microflora can be contaminated with raw materials and the sanitary condition of the equipment. Risk Level 6–8 control type 2, e these points can be defined as Critical Control Points.

Target limits for the dangerous factors are set: availability of appropriate documents for raw materials confirming its quality; temperature mode 0–2°C; integrity of packaging; correct marking. It is obligatory to constantly determine the quality of the finished product and the availability of documents certifying the quality of meat products. Compliance with standard 22000:2018 has enabled the development, implementation and maintenance of a meat safety management system in the enterprise.

Key words: *natural meat products, hazardous factor, risk analysis, critical control points, target limits, monitoring, decision tree.*

ТРАНСПОРТ

УДК 636.086.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/23>

Кірсанова В.В.

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

СПОСОБИ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ДІОКСИДУ КАРБОНУ

В останні десятиліття істотно збільшилася концентрація діоксиду карбону в атмосфері. Спостерігається підвищення середньої температури кліматичної системи Землі. Від діоксиду карбону залежать масштаби глобального потепління протягом століть пропорційно його концентрації в атмосфері. Мета наших досліджень – аналіз можливих способів нейтралізації діоксиду карбону, а також скорочення викидів двоокису карбону, зокрема, під час експлуатації водного транспорту.

Розглянуто методи фіксації CO₂ і його використання як сировини. В результаті численних досліджень доведено, що двоокис карбону може стати в найближчі роки одним із найбільш важливих сировинних матеріалів у хімічній промисловості. У Сіднейському університеті розроблено метод уловлювання вуглецю, аналогічний фотосинтезу. Для широкого застосування результатів досліджень необхідно розробити технологічні процеси синтезу каталізаторів і конструкцію реактора для великомасштабної конверсії.

У Сінгапурі опублікована робота в журналі Science Advances, в якій повідомляється, що за впливу видимого світла матеріал «губчастий» нікель органічної кристалічної структури перетворив діоксид карбону (CO₂) в реакційній камері виключно в оксид карбону (CO) газу, який може бути додатково перетворений у рідке паливо, розчинники, а також інші корисні продукти.

У Тихоокеанській північно-західній національній лабораторії під керівництвом доктора Джона Лінехана і доктора Аарона Аппеля перетворюють вуглекислий газ у форміат. У каталізаторі використовується нікель, набагато більш доступний, ніж платина та інші рідкісні метали, і використовує бікарбонат натрію як основу, а не хімічні речовини, які коштують дорого.

Інтерес становить можливість фіксації діоксиду карбону під час вирощування мікрободоростей, які характеризуються більш інтенсивним зростанням порівняно з вищими рослинами.

Обговорено способи збільшення енергоефективності під час експлуатації водного транспорту. Наведено ключові моменти плану управління енергоефективністю судна. Рекомендовано судовласникам і морським транспортним організаціям зосередити свою увагу на низці ключових моментів, а саме: ефективному витрачанні палива, дизайні корпусу і рухової установки, обслуговуванні та експлуатації механізмів і обладнання, управлінні судном і флотом, оптимізації вантажних операцій, енергопостачанні та кадровій підготовці.

Кайт-вітрило на малих судах і ротор Флеттнера на великих судах розглянуто як елементи нейтралізації діоксиду карбону.

Розроблення технологічних способів фіксації CO₂ в поєднанні з розробленням технологічних способів збільшення енергоефективності дадуть змогу зменшити концентрацію і досягти нейтральності діоксиду карбону.

Ключові слова: глобальне потепління, абсорбція двоокису карбону, енергоефективність судна, енергія вітру.

Постановка проблеми. Із середини 70-х рр. ХХ ст. спостерігається підвищення середньої температури кліматичної системи Землі. Було встановлено, що накопичені парникові гази внаслідок антропогенного впливу є основною причиною виникнення цієї екологічної проблеми. Парникові гази частково поглинаючи інфрачервоне випромінювання утримують у нижніх шарах атмосфери

енергію, що йде в космос. У результаті спостерігається нерівномірний обігрів атмосфери [1; 2].

Наслідками глобального потепління є підвищення рівня моря, зміна кількості опадів, збільшення територій пустелі. Також до наслідків потепління належать такі: збільшення частоти екстремальних погодних явищ, включно з посухами та повеннями; окислення океану, вимирання

біологічних видів через зміну температурного режиму. До важливих для людства наслідків належить загроза продовольчій безпеці і втрата місць проживання людей.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У статті проводиться аналіз можливості нейтралізації, а також скорочення викидів двоокису карбону, зокрема, під час експлуатації водного транспорту.

Новизна статті полягає в констатації факту, згідно з яким діоксид карбону, який становить 72% від загальної кількості парникових газів, може бути зафіксованим різними способами, зокрема під час експлуатації водного транспорту і використаний як сировина.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає в дослідженні методів фіксації діоксиду карбону з метою його використання як сировини в промисловості та для вирощування водоростей, а також в аналізі способів енергоефективності під час експлуатації водного транспорту з метою зменшення діоксиду карбону в атмосфері.

Виклад основного матеріалу дослідження. Діоксид карбону фактором зміни клімату став із моменту початку спалювання вугілля і вуглеводнів у промислових масштабах. З початку індустріалізації концентрація двоокису карбону в атмосфері підвищилася з 280 ppm в 1880 році до 440 ppm у 2018 році. Середня температура поверхні Землі зросла на один градус, і швидкість її збільшення зростає. Якщо тенденція продовжиться, ситуація може вийти з-під контролю. Тому стабілізація клімату передбачає скорочення викидів двоокису карбону до обсягів, які в змозі абсорбувати біосфера. Щоб уникнути незворотних порушень кліматичних процесів, наш економічний уклад повинен стати карбоно нейтральним не пізніше 2050 року [3; 4].

Найперспективніший шлях – заміна викопних джерел енергії поновлюваними. Оскільки стабілізація клімату залежить від інтенсивності скорочення CO₂, в останні роки ведуться дослідження в галузі фіксації та вторинної переробки двоокису карбону. Якщо так вдасться на стабільній основі накопичувати CO₂ з атмосфери або замінити викопні джерела енергії оксидом карбону, навантаження на клімат зменшиться. В результаті численних досліджень підтверджена концепція: двоокис карбону може стати в найближчі роки одним із найбільш важливих сировинних матеріалів у хімічній промисловості. Розроблено технології виробництва двадцяти шести будівельних мате-

ріалів, виробництва пластика з двоокису карбону. Розчинник на основі CO₂ використовується під час видалення кофеїну з кави.

Використання вуглекислого газу як поживної речовини під час вирощування мікродоростей збільшує їхню врожайність приблизно в п'ятеро. При цьому скорочення викидів діоксиду карбону поєднується із збільшенням виробництва необхідної для промисловості та сільського господарства біомаси [5; 9].

Ширшому застосуванню діоксиду карбону заважає його стійкість. Його взаємодії з іншими хімічними сполуками можливі за високих температур і під високим тиском. Тому важливо розробляти біохімічні каталізatori і процеси, які прискорять реакцію двоокису вуглецю з іншими речовинами, що дасть змогу знизити енергоспоживання. Використовуючи спеціальні каталізatori, вже сьогодні можна підвищити реактивність CO₂ і скоротити енергоспоживання.

Професор Цзюнь Хуан зі Школи хімічного і біомолекулярного інжинірингу Сіднейського університету розробив метод уловлювання вуглецю, за якого діоксид вуглецю (CO₂) перетворюється в сировину, яку можна використовувати для створення палива і хімічних речовин. Розроблено метод аналогічний фотосинтезу. Діоксид карбону може бути використаний як вуглецева сировина або хімічний прекурсор палива. Для широкого застосування результатів досліджень необхідно розробити технологічні процеси синтезу каталізatori і конструкцію реактора для великомасштабної конверсії [6].

Каталізатор команди вчених Тихоокеанської північно-західної національної лабораторії під керівництвом доктора Джона Лінехана і доктора Аарона Аппеля перетворює вуглекислий газ у форміат. Ця каталітична система використовує воду, яка є зеленим розчинником. У каталізаторі використовується нікель, набагато доступніший, ніж платина та інші рідкісні метали, і бікарбонат натрію як основа, а не хімічні речовини, які коштують дорого [7].

Міжнародна дослідницька група на чолі з ученими з Національної лабораторії енергетики ім. Ловренса Берклі (Berkeley Lab) і Технологічного університету Наньян (NTU) в Сінгапурі опублікувала роботу в журналі Science Advances, в якій повідомляється, що за впливу видимого світла матеріал «губчастий» нікель органічної кристалічної структури перетворив діоксид карбону (CO₂) в реакційній камері виключно в оксид карбону (CO) газу, який може бути додатково

перетворений у рідке паливо, розчинники, а також інші корисні продукти [8].

Спостерігаємо значущі результати досліджень у галузі абсорбції двоокису карбону, які в перспективі дають змогу скоротити його викиди і перетворити CO₂ в доступну та дешеву сировину.

Однак сукупність усіх цих технологічних процесів не може стати єдиною альтернативою поновлюваних джерел енергії. Оскільки до 2050 року необхідно скоротити викиди двоокису карбону на 50%, адсорбцію необхідно розробити, зокрема, і для транспорту і поєднувати зі зменшенням викидів шляхом використання відновлюваних джерел енергії.

Ми проаналізували розвиток вимог до енергоефективності водного транспорту. Міжнародна морська організація (далі – ІМО), до складу якої входить комітет по захисту навколишнього середовища (Мерс) розробила план управління енергоефективністю судна. У травні 2016 року на щорічному засіданні Міжнародного транспортного форуму (ITF) в Лейпцігу обговорювався типовий план із забезпечення енергоефективності судна (Ship Energy Efficiency Management Plan) і операційного індикатора ефективності судна (Ship Energy Operational Indicator). На цьому ж форумі було представлено напрацювання практичних рекомендацій щодо оптимізації енергоефективності використання судів від Міжнародної шипінгової палати (ICS) У жовтні того ж року Мерс опублікував Резолюцію 282(70) Настанова 2016 року з розроблення плану управління енергоефективністю судна (ПУЕС).

План Управління енергоефективності судна є обов'язковим для судів із валовою місткістю понад 400 тонн. Метою ПУЕС є оцінка і контроль ефективності використання судів і енергоресурсів. У ньому вказується на необхідність надання допомоги компанії тагалузі в управлінні екологічними показниками судів і вказується на те, що ця ефективність експлуатації зробить неоцінений внесок у зниження світових викидів двоокису карбону [10].

На думку експертів Міжнародної морської організації, досягнення оптимальної енергоефективності за використання й управління судна можливе у разі наявності комплексного підходу до вирішення цієї проблеми. Автори Плану управління енергоефективністю судна рекомендують судновласникам і морським транспортним організаціям зосередити свою увагу на низці ключових моментів, а саме: ефективно витрачання палива, дизайн корпусу і рухової установки, обслуговування та експлуатація механізмів і обладнання,

управління судном і флотом, оптимізація вантажних операцій, енергопостачання та кадрова підготовка. Міжнародна шипінгова палата до головних умов зменшення викидів двоокису карбону відносить такі: зниження швидкості руху, оптимізацію водного баласту і маршрутів з урахуванням погодних умов, своєчасність заходу судна в порт, застосування нових видів палива. Такі заходи, за оцінками експертів, зможуть скоротити викиди газів на 50% до 2050 року.

У судноплаванні вже сьогодні використовуються нетрадиційні шляхи енергоефективності судна, зокрема енергія вітру. Аналізуючи чинні розробки, доходимо висновку, що вітроенергетика є однією з перспективних технологій судноплавання. Сучасні технології та інновації дають можливість використовувати енергію вітру більш ефективно, ніж традиційні вітрила. У 2016 році була опублікована доповідь незалежної науково-дослідницької консалтингової організації, що спеціалізується на розробленні інноваційних рішень екологічних проблем PC Deifi. Було проаналізовано чотири види сучасних вітряних установок: жорсткі вітрила, буксирувальні кайти, ротори і вітрові турбіни. Найкращі показники економії палива для великих суден досягнуто під час застосування Ротора Флеттнера, а для малих суден – Кайт-вітрила.

Кайт-вітрило генерує в 25 разів більше тягове зусилля на квадратний метр площі порівняно зі звичайним вітрилом. У разі сильного вітру відповідає потужності приводу до 2000 кВт. Уперше система кайт-парус була встановлена на вантажному судні «Michel». Сьогодні кайт-парус успішно застосовується на малогабаритних судах. Установка цієї технології не потребує висновку судна з експлуатації, можливість монтажу не залежить від року побудови судна. Немає необхідності в збільшенні штату екіпажу для обслуговування та експлуатації установки. Під час використання системи кайт-вітрила економія палива становить від 10 до 20%, при цьому вона не впливає на остійність судна. Отже, не впливає на безпеку плавання, оскільки не провокує крен і не змінює габарити судна. З урахуванням глобального потепління систему кайт-вітрило слід більш широко застосовувати і вдосконалювати [11].

На великогабаритних судах сьогодні встановлюються ротори Флеттнера, засновані на використанні ефекту Магнуса. Ротори Флеттнера були встановлені в 1924 на судні «Баку», яке в 1926 році здійснило рейс з Європи в Америку через Атлантичний океан. Економічна криза кінця

1920-х років зупинила розвиток технології використання роторів на судах Enercoson. На ньому встановлено чотири ротори типу Флеттнер, висотою 27 метрів і в діаметрі 4 метри, що встановлено на верхній палубі. Двигунами служать дев'ять силових установок Mitsubishi, ротори обертаються за допомогою парової турбіни виробництва Siemens, яка працює від відпрацьованих газів. Сьогодні ця технологія дає змогу зекономити паливо на 15%. Передбачається, що роторні вітрила можуть досягти до 30–40% економії. Застосування технології використання ефекту Магнуса можливе на нових судах, від самого початку для цього спроектованих. Раніше побудовані судна вимагають серйозних конструктивних змін і великих капіталовкладень. Модернізація і переобладнання вже побудованих суден економічно недоцільна [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема досягнення карбону нейтральності є глобальною. Споживання енергії на душу населення неухильно зростає, і це зростання поєднується з ростом чисельності населення. Високі джерела енергії утворюють надмірну кількість діоксиду карбону, який накопичується в атмосфері. Його зменшення в атмосфері можливе завдяки використанню відновлюваних джерел енергії. Однак альтернативні джерела енергії не в змозі повністю замінити високі джерела. На нашу думку, доцільно фіксувати частину діоксиду карбону для його зменшення в атмосфері. Становлять інтерес результати досліджень, згідно з якими можливе перетворення діоксиду карбону в метанол. Є перспективним метод фіксації CO₂ аналогічний фотосинтезу. Для зменшення викидів під час експлуатації водного транспорту найбільш перспективним є матеріал «губчастий» нікель органічної кристалічної структури, який перетворив діоксид карбону (CO₂) в реакційній камері

виключно в оксид карбону (CO) газу, що може бути додатково перетворений у рідке паливо. Під час розроблення доступних технологій отримання палива з CO₂ безпосередньо під час експлуатації судна і взагалі під час будь-яких викидів діоксиду карбону дасть змогу істотно зменшити концентрацію діоксиду карбону в атмосфері.

Було проаналізовано види сучасних вітряних установок: жорсткі вітрила, буксирувальні кайти, ротори і вітрові турбіни. В результаті сьогодні застосовуються ротори Флеттнера, а для малих суден – Кайт-вітрила. Однак під час експлуатації водного транспорту не використано всі можливості впровадження альтернативних джерел, а отже – всі можливості збільшення енергоефективності. Перспективи використання результатів дослідження полягають у розробленні способів фіксації діоксиду карбону під час експлуатації водного транспорту, а також мають значення під час розроблення методів використання енергії.

Висновки. Надмірне накопичення діоксиду карбону в атмосфері є причиною підвищення середньої температури кліматичної системи Землі. Ця екологічна проблема може стати причиною загибелі живої матерії на Землі. Глобальне зобов'язання скоротити викиди двоокису карбону на 50% не пізніше 2050 є проблемою, яку важко досягти, оскільки з кожним роком збільшуються потреби в енергії. Вирішення цієї проблеми можливе під час використання поновлюваних джерел у поєднанні з успішною та інтенсивною фіксацією діоксиду карбону в атмосфері та ефективним використанням енергії. Перспективи використання результатів дослідження полягають у розробленні способів фіксації діоксиду карбону під час експлуатації водного транспорту, а також мають значення під час розроблення методів використання енергії вітру.

Список літератури:

1. Білявський Г.О. Основи екології. Київ : Лібра, 2006. С. 64–71.
2. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища. Київ : Знання, 2007. С. 347–354.
3. Голледж Н.Р., Келлер Е.Д., Гомес Н. и соавт. Глобальные экологические последствия таяния ледникового покрова XXI века. *Nature*. 2019/ № 566(7742). Р. 65–72. DOI: 10.1038
4. Аномальная жара приходит все чаще в европейские дома, вынуждая их приспособиться к новому климату URL: <https://ru.euronews.com/2019/10/07/abnormal-heat-comes-to-european-cities-more-often-forcing-them-to-adapt-to-the-new-climat> (дата звернення: 05.11.19).
5. Хан М.И., Шин Дж.Х., Ким Дж.Д. Многообещающее будущее микроводорослей: текущее состояние, проблемы и оптимизация устойчивой и возобновляемой промышленности для производства биотоплива, кормов и других продуктов. *Microb Cell Fact* . 2018. № 17 (1): 36. DOI: 10.1186 / s12934-018-0879-x.
6. Haitao Li et al. Квантовые точки углерода и оксид меди с двойной защитой углеродного слоя для эффективного уменьшения CO₂ в видимом свете. 2019. *Chemical Communications*. DOI: 10.1039/c9cc00830f.
7. Samantha A. Burgess et al. Гидрирование CO₂ в воде с использованием бис (дифосфин) Ni – Н комплекса. *ACS Catalysis*. 2017. DOI: 10.1021/acscatal.7b00350.

8. Губчатый никель-органический фотокатализатор восстановления CO₂ для почти 100% селективного производства CO₂. *Science Advances*. 2017. advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700921

9. Halley E. Froehlich и др. Потенциал синего роста для смягчения последствий изменения климата посредством компенсации морских водорослей. *Current Biology*. 2019. DOI: 10.1016/j.c.201.201.07.041.

10. Горб С. Новые правила энергоэффективности для судов. *Порты Украины*. 2013. №1 (123). С. 34–35.

11. Ветряные фрахтовщики. URL: <https://phys.org/news/2015-01-wind-powered-freighters.html> (дата звернення 11.11.19).

12. Максимов С.Б. Использование энергии ветра – один из потенциальных путей повышения энергоэффективности морских судов. *VIII Міжнародна науково-практична конференція Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту. Збірник тез доповідей*. Ізмаїл, 2017. С. 172–176.

Kirsanova V.V. METHODS OF NEUTRALIZING CARBON DIOXIDE

In recent decades, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere has increased significantly. An increase of the average temperature of the Earth's climate system is observed. The concentration in the atmosphere of carbon dioxide leads to global warming during the centuries. The purpose of our research is to analyze a possible way to neutralize carbon dioxide, as well as to reduce its emissions while operating water transport.

The methods of CO₂ fixation and its use as raw materials are considered. It is noted that carbon dioxide can become one of the most important raw materials in the chemical industry in the coming years.

University of Sydney has developed a method of capturing, carbon, which is similar to photosynthesis. For widespread use of research results, it is necessary to develop technological processes for the synthesis of catalysts and the design of a reactor for large-scale conversion.

In Singapore it is published the work in the journal Science Advances, in which it is reported that when exposed to visible light, the material "spongy" nickel of the organic crystal structure, has converted carbon dioxide (CO₂) in the reaction chamber exclusively into carbon monoxide (CO) gas, which can be further converted into liquid fuel, solvents and other useful products.

The Pacific Northwest National Laboratory, led by Dr. John Linehan and Dr. Aaron Appel, converts carbon dioxide into formate. In the catalyst it is used nickel, which is much more affordable than platinum and other rare metals and it is used sodium bicarbonate as the base, rather than chemicals that are expensive.

The possibility of fixing carbon dioxide during the cultivation of micro seaweeds, which are characterized by more intensive growth in comparison with higher plants is the subject of our scientific research.

The methods of increasing energy efficiency in the operation of water transport are analyzed. The key points of the ship's energy efficiency management plan are presented. It was recommended to ship owners and marine transport organizations to focus on a number of key points, namely: efficient fuel consumption, hull and propulsion system design, maintenance and operation of mechanisms and equipment, ship and fleet management, optimization of cargo operations, energy supply and personnel training.

Kite-sails on small vessels and the Flettner's rotor on large vessels are considered as carbon dioxide neutralization elements.

The development of technological methods for fixing CO₂ in combination with the development of technological methods of increasing energy efficiency will reduce the concentration and achieve neutrality of carbon dioxide.

Key words: global warming, carbon dioxide absorption, ship energy efficiency, wind energy.

УДК 621.561.59, 629.123
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/24>

Козьмініх М.А.

Національний університет «Одеська морська академія»

Ольшамовський В.С.

Національний університет «Одеська морська академія»

УДОСКОНАЛЕННЯ СУДНОВИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Руйнування озонового шару атмосфери Землі і зміна клімату в результаті глобального потепління – це головні екологічні проблеми, які стоять практично перед усіма видами промисловості і транспорту. Посиленню цих проблем сприяє високе енергоспоживання обладнанням таких суднових систем і допоміжних установок, як системи вентиляції та опалення, холодильні установки комфортного і технологічного кондиціонування повітря, що викликають підвищену витрату палива дизель-генераторами.

Прийнявши Кіотський протокол, Європейський союз зобов'язався до 2020 року знизити викид CO₂ як мінімум на 20%. Щоб досягти цієї мети, покликаної не допустити подальшої зміни клімату, ЄС прийняв у 2005 році директиву про продукти кінцевого енергоспоживання (EuP – Energy using Products-Directive). У 2009 році вона була перейменована в директиву про продукцію, пов'язану з енергоспоживанням (ErP – Energy related Products-Directive). Згадана директива служить основою для визначення можливостей підвищення економічності різних об'єктів, пов'язаних з енергоспоживанням, і для закріплення мінімальних вимог до таких об'єктів. У червні 2010 року були встановлені обов'язкові граничні показники ефективності для електродвигунів та вентиляторів, незалежно від того, чи працюють вони самостійно або є складовою частиною приладу чи установки. Під дію цих нормативів підпадають численні області застосування електродвигунів і вентиляторів – від систем вентиляції, холодильних установок і техніки для кондиціонування повітря до машинобудування та обчислювальної техніки. Рішенням виникаючих проблем може бути застосування для вентиляторів безколекторних електронних – комутованих (Electronically Commutated) двигунів. Таке рішення дозволяє підвищити ефективність роботи теплообмінників систем кондиціонування повітря.

У статті наводяться можливі шляхи зниження енергоспоживання судновим обладнанням, що приведе до зниження викидів шкідливих речовин дизелями генераторів у навколишнє середовище.

Ключові слова: енергоспоживання, безщітковий двигун постійного струму, вентилятор, системи кондиціонування, теплообмінники.

Постановка проблеми. Сьогодні в енергозберігаючих системах судна, у тому числі і системах опалювання, вентиляції і кондиціонування (ОВК), все більше уваги приділяється питанням енергозбереження та екологічної безпеки довкілля. У зв'язку з цим використання найбільш ефективних енергозберігаючих засобів і методів у цій сфері стає надзвичайно актуальним завданням. Зокрема, одним з нових напрямів є вживання так званих ЕС-двигунів у суднових системах вентиляції, комфортного і технологічного кондиціонування повітря, які практично не використовуються в цих суднових системах.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження можливостей удосконалення суднових систем вентиляції та комфортного і технологічного кондиціонування повітря.

Виклад основного матеріалу дослідження.

ЕС-двигун – це безколекторний електронний комутований (Electronically Commutated) двигун. Його іноді також називають BLDC-двигуном (Brushless DC motor), тобто це безщітковий двигун постійного струму. ЕС-двигун в розрізі представлений на рисунку 1. Вентилятори, побудовані на базі цього двигуна, називаються ЕС-вентиляторами.

ЕС-двигун має зовнішній ротор, в якому розташовуються сегменти з постійними магнітами. Управління обертанням ротора ЕС-двигуна здійснюється за рахунок контрольованого подання електроенергії на обмотку статора залежно від положення ротора, яке відстежується за допомогою датчиків Холу, а також заданих параметрів регулювання, що поступають, наприклад, від зовнішніх датчиків відповідного типу у вигляді

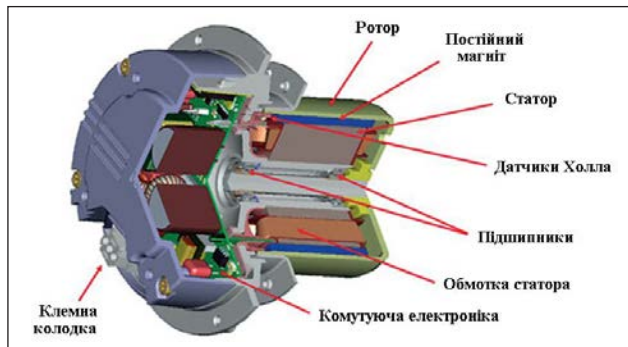


Рис. 1. Облаштування енергозберігаючого ЕС-двигуна

струмових ($4 \div 20$ мА) або потенційних ($0 \div 10$ В) сигналів. При цьому вбудований PID-регулятор дозволяє, разом з пропорційним управлінням, встановлювати швидкість реагування двигуна на зміну сигналу, що управляє, залежно від його диференціальних і інтегральних показників.

Принцип роботи ЕС-двигуна заснований на тому, що в полі, яке створюється вбудованим в ротор постійними магнітами, здійснюється управління вектором магнітного поля шляхом зміни напрямку струму в обмотці статора. У кожен момент часу контролер обчислює і подає на обмотку статора полярність струму, яка потрібна для того, щоб забезпечити безперервне обертання ротора із заданою швидкістю.

ЕС-двигуни можливо підключати до постійного джерела напруги згідно з параметрами або через вбудований комутаційний модуль безпосередньо до мережі змінного струму (220 В, 380 В) з використанням стандартного приладового інтерфейсу RS 485 або спеціальної шини EBM BUS, яка може забезпечити можливість управління вентилятором (або групою вентиляторів до 31 одиниць в кожній) за допомогою ПК або КПК. В системі управління передбачена видача попереджувальних та аварійних сигналів, а також забезпечення моніторингу роботи системи.

Слід зазначити, що під час роботи ЕС-двигун практично не виділяє тепла, тоді як АС-двигун має робочу температуру від 35°C до 75°C , що накладає додаткове теплове навантаження на контур охолодження. При цьому ЕС-двигуни без додаткового перегрівання забезпечують свою працездатність в широкому діапазоні температури зовнішнього середовища. За даними EBM PAPST, температура розігрівання працюючого ЕС-двигуна на підставі проведеного тестування не перевищує $+45^{\circ}\text{C}$. Максимально і мінімально допустимі температури експлуатації ЕС-двигуна складають відповідно від -20°C до $+75^{\circ}\text{C}$.

Особливо важливим для систем технологічного і комфортного кондиціонування є те, що вони повинні безперервно забезпечуватися гарантованим підпором повітря. Вказані значення повинні підтримуватися незалежно від умов (відкриття дверей, роботи устаткування тощо), що змінюються, а витяжні системи вентиляції повинні безперервно забезпечуватися гарантованим розрідженням.

У першому випадку це досягається переважанням припливу над витягом, а в другому – переважанням витягу над припливом, що забезпечується регулюванням витрат повітря за свідченнями зовнішніх пресостатів, контролюючих перепад тиску між приміщеннями. Найбільш точне, безінерційне й ефективне регулювання витрат повітря досягається використанням ЕС-двигунів як приводів вентиляторів, внаслідок чого вони визначені рядом європейських стандартів (VDI3803, VDI2167 part 1, SWKI – Guideline 99-3) як комплектуючий елемент кондиціонерів і спеціальних систем вентиляції.

Робота контролерів у цих випадках здійснюється за свідченнями не двох, як зазвичай, датчиків (термостат і гігростат), а трьох датчиків, в число яких включається також пресостат. Останній працює в ланцюзі управління ЕС-двигунами.



Рис. 2. Регулятор тиску з вбудованим датчиком тиску

Компактність, низьке енергоспоживання, плавне і точне регулювання, низький рівень шуму, відсутність вібрації, узгодженість з робочим колом по аеродинаміці і потужності, а також ряд інших особливостей ЕС-двигунів є причиною усе більш зростаючого інтересу до них. Перевага в габаритах зумовлена тим, що ЕС-двигуни є компактнішими порівняно з АС-двигунами, повністю вписуються в габарити крильчатки вентилятора, забезпечуючи прямий привід, тоді як вентилятори з АС-двигунами займають значно більше місця, особливо у напрямі потоку повітря, що означає необхідність наявності декілька

збільшених розмірів вентиляційної камери. Розмір вихідного отвору ЕС-вентилятора практично співпадає з поперековими розмірами секції, в якій він розміщується. Це приводить, з одного боку, до ефективнішого використання поверхні теплообмінника, що встановлюється за вентилятором за рахунок задалегідь вирівняного потоку повітря, і поліпшення знімання з нього теплоприпливів, а з іншого боку, знижує швидкість проходження повітря у середині секції вентилятора, зменшує втрати тиску і шумність. Переваги порівняння з АС-двигуном, що має ремінний привід, схематично показані на рисунку 3.

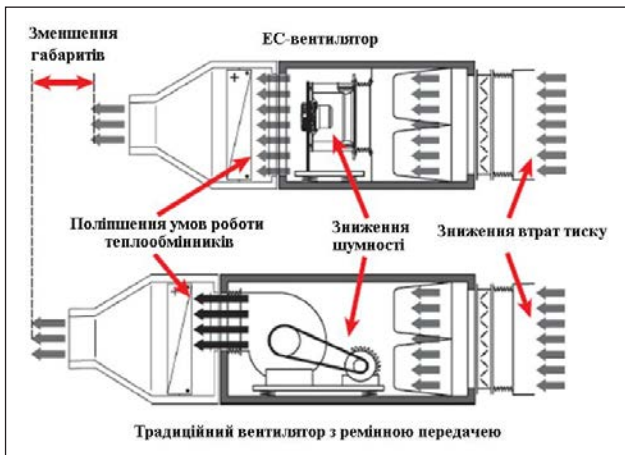


Рис. 3. Схема розташування вентиляторів з ЕС- і АС-двигунами

Оскільки ротор ЕС-двигуна є зовнішнім з постійними магнітами, в ньому відсутні теплові витрати, які неминучі у разі короткозамкнутого ротора асинхронного двигуна. Як наслідок відбувається підвищення ККД, який досягає 80–90%. На рисунку 4 наводиться порівняння ККД двигунів різного типу, серед яких ЕС-двигун характеризується рекордними значеннями в широкому діапазоні корисної потужності на виході.

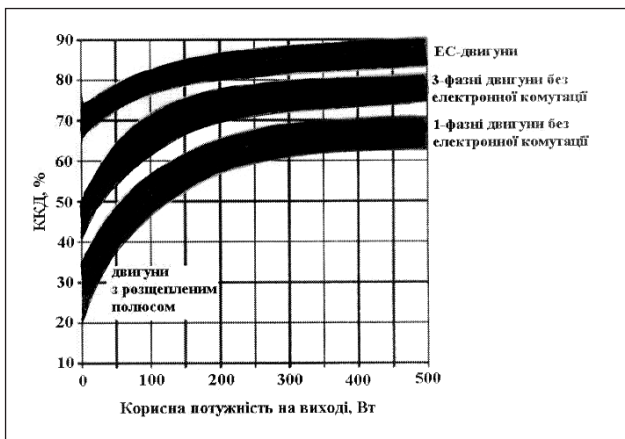


Рис. 4. ККД вентиляторів з різними двигунами

Разом з високим ККД висока міра енергозбереження під час використання ЕС-двигунів в системах опалювання, вентиляції, кондиціонування повітря досягається за рахунок регулювання числа обертів. Відомі такі співвідношення між числом обертів (n_1, n_2), витратою роботи (L_1, L_2), втратою тиску ($\Delta p_1, \Delta p_2$) і споживаною потужністю (N_1, N_2):

$$L_1/L_2 = n_1/n_2;$$

$$\Delta p_1/\Delta p_2 = (L_1/L_2)^2 = (n_1/n_2)^2;$$

$$N_1/N_2 = (\Delta p_1 L_1)/(\Delta p_2 L_2) = (n_1/n_2)^3.$$

Через кубічну залежність споживаної потужності від числа обертів їх плавне і глибоке регулювання, забезпечуване ЕС-двигунами без перетворення частоти живлячої напруги, дає відповідний значний ефект у частині зниження сумарних значень споживаної потужності, ілюстроване на рисунку 6 шляхом порівняння ЕС-двигунів з АС-двигунами, що використовують фазовий, амплітудний або частотний режим регулювання.

З експлуатаційної точки зору переваги ЕС-двигунів зумовлені тим, що частини, що обертаються, виконані як один динамічно і статично збалансований компонент, загальна вага якого рівномірно розподілена на обидва опорні підшипника, що значно впливає на термін служби виробу. Супутньою цьому обставиною є також мінімальна вібрація і шум під час роботи ЕС-двигуна.

Рівномірний розподіл повітряного потоку через теплообмінники кондиціонера або системи вентиляції зменшує зони застою повітря, що призводить до збільшення теплопродуктивності теплообмінників.

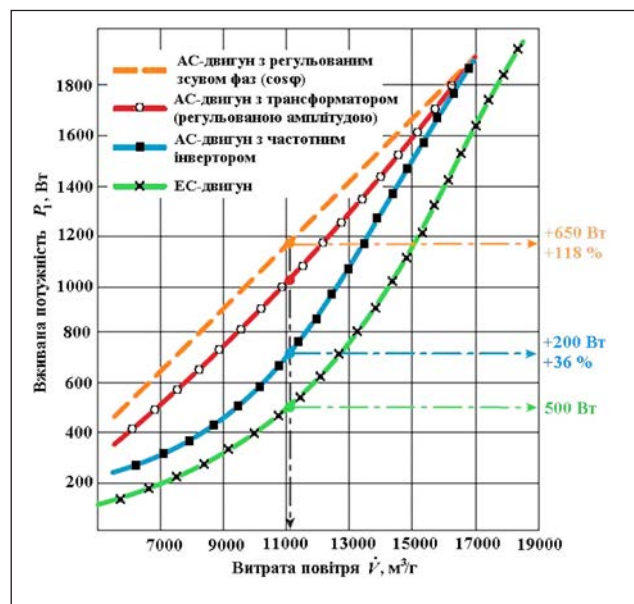


Рис. 5. Зміна споживаної потужності вентиляторів з різними типами електродвигунів

Висновки. ЕС-вентилятори мають підвищені технічні характеристики – підвищену потужність і ККД за менших габаритів.

ЕС-вентилятори не створюють додаткового шумового навантаження під час регулювання швидкості обертання, рівень звукового тиску зменшується на 6 дБ порівняно із старими моделями.

ЕС-вентилятори вигідно відрізняються додатковим захистом від перегрівання електроніки і двигунів вентиляторів, а також захистом від блокування ротора, втрати фази і різких стрибків

напруги, забезпечуючи безперебійну роботу як в несприятливих умовах довкілля, так і при збоях електроживлення.

ЕС-вентилятори завдяки вбудованому захисту по електроживленню мають високий моторесурс, що становить більше 80 000 годин.

ЕС-вентилятори можна комутувати з Modbus, таким чином спростивши дистанційний контроль над експлуатаційними параметрами вентиляторів.

Нові ЕС-вентилятори підвищують ефективність роботи теплообмінників.

Список літератури:

1. Вишне夫斯基 Е.П. Энергосбережение при проектировании систем микроклимата зданий. *Сантехника. Отопление. Кондиционирование (С. О.К.)*. № 1. 2010.
2. Вишне夫斯基 Е.П., Чепурин Г.В. Новые европейские стандарты в области ОВК. *Сантехника, Отопление, Кондиционирование (С.О.К.)*. № 2. 2010.
3. ЕС-вентиляторы в тепловых насосах. *Сантехника. Отопление. Кондиционирование (С. О.К.)*. № 6. 2008.
4. ЕС-вентиляторы для овощехранилищ и грибных камер. *Сантехника. Отопление. Кондиционирование (С. О.К.)*. № 1. 2010.
5. Канальный вентилятор и его привод. Анализ тенденций развития. Р. К. Эсманский, ООО «Климат-ВентМаш».

Kozminykh M.A., Olshamovsky V.S. IMPROVEMENT OF SHIP SYSTEMS OF VENTILATION AND COMFORT AND TECHNOLOGICAL CLIMATIZATION

The destruction of the ozone layer of the Earth's atmosphere and climate change as a result of global warming are major environmental issues facing virtually all industries and transportation. Exacerbation of these problems is facilitated by the high energy consumption of equipment of ship systems and auxiliary installations such as: systems of ventilation and heating, refrigeration installations of comfortable and technological air conditioning, which cause high consumption of diesel fuel by generators.

By adopting the Kyoto Protocol, the European Union has committed to reducing CO₂ emissions by at least 20% by 2020. In order to achieve this goal, which is designed to prevent further climate change, the EU adopted in 2005 the EuP - Energy using Products-Directive. In 2009, it was renamed the Energy Related Products Directive (ErP). The said Directive serves as a basis for defining the possibilities of increasing the cost-effectiveness of various energy-related facilities and for fixing minimum requirements for such facilities. In June 2010, mandatory performance limits for electric motors and fans were established, regardless of whether they were operating independently or were part of the unit or installation. These standards are subject to numerous applications of electric motors and fans: from ventilation systems, refrigeration and air conditioning equipment - to mechanical engineering and computer engineering. To solve of problems, we can get more information for fans in non-collector electronically commutated machines. Also, the solution is permissible efficiently robotic heat exchangers in air conditioning systems.

The article describes possible ways to reduce the energy consumption of ship equipment, which will lead to the reduction of emissions of harmful substances by diesel generators into the environment.

Key words: *energy consumption, brushless dc motor, ventilator, conditioning systems, heat-exchangers.*

UDC 656.6

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/25>**Malaksiano M.O.**

Odessa National Maritime University

Melnyk O.M.

Odessa National Maritime University

VESSEL SELECTION PROSPECTS AND SUITABILITY ASSESSMENT FOR OVERSIZED CARGO TRANSPORTATION

The countries of Southeast Asia are the largest importers of bulk cargoes in the world, as well as exporters of large volumes of oversized project cargo including unique equipment consisting of heavy-lifts and out of gauge units, which are carried on board of specialized ships, specially designed build for this type of transportation. A large number of dry cargo vessels, including bulk carriers and container ships that formed free tonnage in this geographical area, remain mainly unloaded in the reverse direction and therefore have to return in ballast condition. The way of assessment of the possibility of using such non-specialized vessels for the carriage of oversized project cargo is primarily based on the assessment of the ship's performance in a situation where the ship is being loaded in bulk by cargo (from Europe) and in the opposite direction (from Southeast Asia) for transportation of oversized project cargo. Considering that the design of dry cargo and container vessels is not optimal for such kind transportation, in most cases, some research is needed to adapt such non-specialized vessels for the transportation of heavy and oversized cargo, to optimize the loading, stowage and securing ensuring safety of cargo during sea passage. In some cases in order to assess the suitability of the vessel her cargo compartments, decks and hatches, its strength, security means and entire safety of the ship, it may also be necessary to apply additional measures to rebuild structural components and ship devices. Therefore, the issues related to the development of measures aimed at improving the efficiency of maritime transport, based on the specifics of the structure of cargo flow, are quite essential. The scope of this work is to discuss some perspectives and practical aspects of ships selection, considering possibility to engage them for transportation of project cargoes and work at economical speeds. Shipping companies often report figures in TCE (time charter equivalent) values so that investors can compare performance of ships operating in the spot and time-charter markets.

Key words: oversized project cargo, time charter equivalent, freight rate.

Introduction. The freight market has a tough competitive environment, where the oversized and heavy lift cargo transportation facing the increase of requirements for loading techniques and transportation technologies. Therefore, for each individual project it is necessary to elaborate and develop the process of implementation the transportation technologies that are significantly different from the standard or conventional ones and it remains as a major challenge. Among that, such transportation projects are developing in accordance with respective industry rules where the all requirements and approvals to be granted upon the initial stage of the process by the governing authorities, up to approval of the necessary rigging equipment for moving and transporting cargo. The object of this article is to discuss some perspectives and practical aspects of ships selection, in view of possibility of their operation for transportation of project cargo using time charter equivalent (TCE) calculation.

Literature review. A wide range of issues related to the technological and economic aspects of the

transportation of heavy and oversized cargo reviewed in sources [1–3]. In [4] the world market of heavy and oversized cargoes analyzed and the tendencies of its development are studied. Articles [5; 6] analyzed the current state of research in the field of organization and improvement of oversized cargo transportation and considered the prospects for further research with the development of modern models of management of oversized cargo transportation to Ukraine using river-sea transport. Article [7] deals with the safety of the process of transportation of oversized cargo by sea and particularly, as a deck cargo on modern ships.

Dependence research of fuel consumption on the speed mode of ships and methods of selection the optimal operating speed carried out in sources [8–11]. Thus, the article [8] analyzes the types of speed of the vessel and substantiates the choice of the speed of the vessel taking into account the interests of the charterers and the ship owners. The issues of selection the optimal operating speed of ships during operational freight activity considered in sources [9; 10].

In source [11] methods of research of technical and economic indicators of work of vessels are stated. The works [12–17] are devoted to determining the optimal operational speed of vessels.

Materials and methods. Nowadays supply chain for a modern infrastructure projects involves numerous manufacturers of many countries, differing contractors and a complicated array of supply routes including any combination of land transport, sea, river, rail, road or air. The water transport and its loading capacities is significantly higher than land vehicles and usually suffices for the largest and heaviest oversized cargo units. Mainly there are three types of cargo, which are commonly in use in shipping industry (see Fig.1):

- Oversized cargo or Out-of-Gauge cargo is the cargo which exceeding standard container dimensions, (also OOG cargo, or abnormal loads).
- Heavy Lift Cargo is installation of indivisible heavy items, which are due to the absence of standardization for water, and land transportation requires special handling as well as special lifting cranes and utilities.
- Project Cargo define a cargo lot considered for transportation as combination of oversized, heavy, high value or a critical pieces of equipment.

The transportation of oversized or heavy cargo units with specific requirements for loading, stowage and securing processes generally carried out on specialized vessels, which have technical characteristics,

and technological capabilities that meet the requirements for the carriage of such cargoes. However, the significant portion of the project cargo transported by non-specialized vessels. Practically there are frequent cases when project cargoes transported on bulk carriers or container ships, (see Fig. 2) whilst the construction of bulk and container carriers is not optimal for such transportation. In most cases, in order to adapt non-specialized vessels for the transportation of heavy and oversized cargo, certain researches to optimize the loading and securing of cargo, assessing the seaworthiness, strength, stability and safety of the vessel are required. In some cases, it may be also necessary justify additional measures for strengthening the ship's construction. Nevertheless, in some cases the use of non-specialized vessels is more economically feasible than the use of specialized vessels respectively. This is due to the specifics of the distribution of the world economy and the distribution of cargo flows. Thus, the countries of Southeast Asia are the largest importers of bulk cargo in the world, as well as exporters of large volumes of project cargo. Therefore, it is quite often situation for laden vessels going to China or S. Korea to face the difficulties to find open freight for reverse direction and they forced to return ballasted. Except that there are also a large number of shipyards in the region, which annually deliver a significant number of new building vessels and vessels after dry-dock maintenance and repair. Thus, there is large percentage of open



Fig. 1. Loading and stowage of the project cargo. Source Schryver & GGGate

tonnage in the region. Although most of these vessels are not designed to carry project cargoes, in some cases it may be more economically effective to use these vessels for project cargo transportation than to carry ballast instead. At one end of the break bulk market are crane-equipped general cargo ships. They tend to run a liner-like service and seek “triangulation” – i.e. to carry cargo on each leg of a long sea-going voyage consisting of several trade lanes. The end goal is to return to the point of origin without ever having suffered an empty ship [19].

Assessment of performance of non-specialized vessels in transportation of project cargo can be started from evaluation of the efficiency of the ship’s operation in the situation when in the forward direction the ship has been loaded with bulk cargo (from Europe) and in the opposite direction (from South-East Asia) – project cargo.

One of the indicators that is widely used to evaluate a ship’s operating efficiency is the time charter equivalent (*TCE*). The *TCE* is a standard shipping industry performance measure used to compare period-to-period changes in a company’s performance.

$$TCE = \frac{NR - R_p}{t_p}, \quad (1)$$

Where: *NR* – is net freight (freight minus the brokerage commission), USD;

R_p – variable expenses of the ship-owner in the voyage (fuel costs, payment of port charges, services of stevedore companies and other operations at the ports of loading / unloading), USD;

t_p – voyage duration, days.

Practically as example, the dynamics of changes in the *TCE* values can be considered for a bulk carrier with a deadweight of 40.000 mts. Fig. 3 shows a graph of changes in *FR* (freight rates) for the transportation of grain in bulk from Ukraine to China for a shipment of 35.000-40.000 mts. Changes of the values of lumpsum rates for the transportation of oversized cargo on board of a bulk carrier with a deadweight of 40.000 mts are shown in Fig. 4.

Fig. 5 shows a graph of the changes of the *TCE* values, calculated according to formula (1), on condition that *FR* for the transportation of grain from Ukraine to China changes in accordance with the



Fig. 2. Bulk carries loaded with deck project cargo. Source Freightwaves

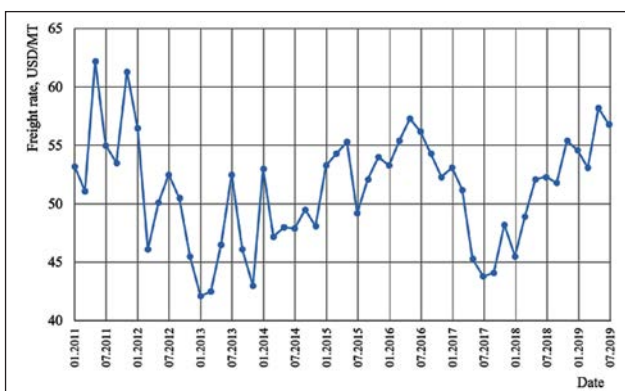


Fig. 3. Freight rate for grain export from Ukraine to China

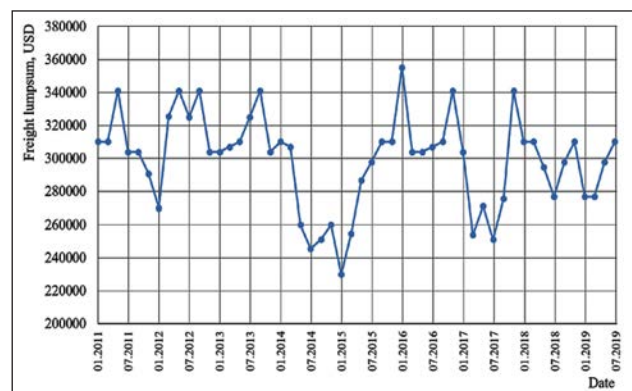


Fig. 4. Lumpsum freight for project cargo export from China to Ukraine (BC dwt 40K mts)

graph shown in Fig. 3. and lumpsum rates for project cargoes transported in the reverse direction changed in accordance with the schedule presented in Fig. 4. At the same time, it is assumed that the round trip lasts 67 days, and the variable costs for the round trip to be in amount of 21.000 USD.

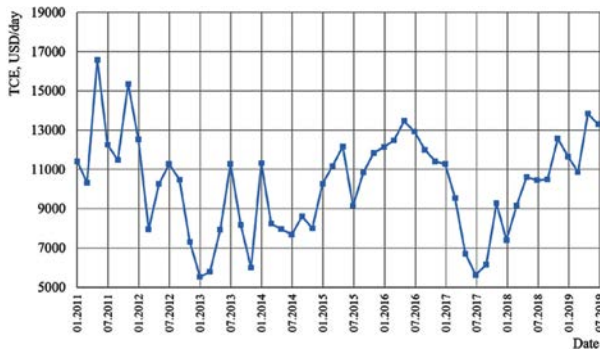


Fig. 5. Time charter equivalent values

A comparison of graphs showing changes in the *TCE* and the market *FRTC* (freight rate of the time-charter) for a bulk carrier with a deadweight of 40.000 mts shown on Fig. 6.

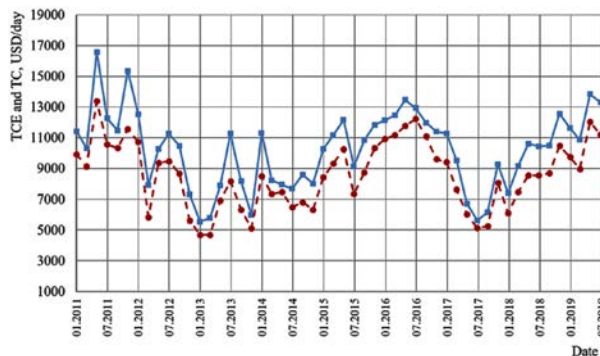


Fig. 6. Comparison of time charter equivalent to time-charter rate

In Fig. 6 described that in case when a bulk carrier is used for project cargo transportation from the Southeast Asia region to the Black Sea region, the average value of the *TCE* exceeds the market *FRTC* value by 1600 USD per day. Also in this case, the minimum difference between *TCE* and *FRTC* is 500 USD per day, the maximum difference is 3800 USD per day, and the median difference is 1750 USD per day. At the same time, the value of 90% percentile of the difference between *TCE* and *FRTC* is 2100 USD per day, and the value of 10% percentile is 900 USD per day. Calculations indicate that most of the time (80% of the total observation time) the value of *TCE* is more than 900 USD per day exceeds market value of *FRTC*.

In addition, Fig. 6 reveals existence of a relationship between the values of *TCE* and *FRTC*, which is also evidenced by the scatter plot shown in Fig. 7 and the fact that the Pearson correlation coefficient between both values *TCE* and *FRTC* is 0.97.

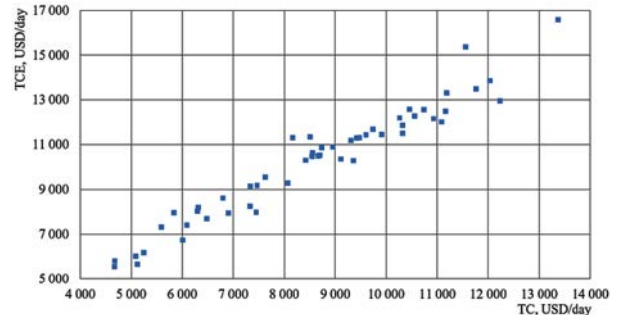


Fig. 7. Scatter plot of time charter equivalent and freight rate values

As it seen on the graphs presented in Fig. 6, it might be supposed that the difference between the *TCE* and *FRTC* values increases with the improvement of the freight market tendencies and vice versa becomes smaller when the freight rates decrease. However, this hypothesis does not find confirmation, as evidenced by the scatter plot shown in Fig. 8 and the fact that the Pearson correlation coefficient between *FRTC* values and difference between *TCE* and *FRTC* is only 0.38.

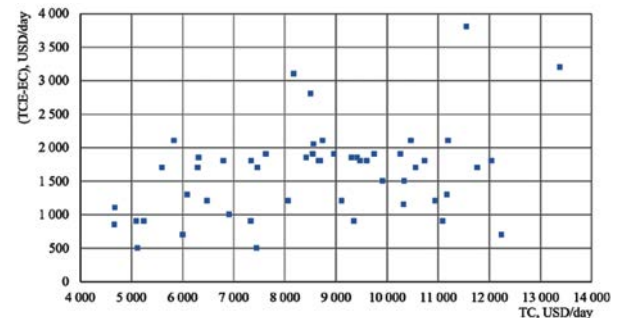


Fig. 8. Scatter plot of freight rate values and difference between time charter equivalent and freight rate

Discussion. When studying the feasibility of taking a dry cargo vessel or bulk carrier in a time charter, ought to consider that in one of directions she might be used for the carriage of project cargo. It is sufficient to calculate the value of the *TCE* for this vessel in several typical directions where several ships of different types to be considered and evaluated. The efficiency of these vessels, since they will carry bulk cargo in one direction and project cargo in the opposite direction. There are a number of limitations and restrictions, which stipulate the transportation of these types of cargo, technical and operational

characteristics of the vessels and the parameters of the cargo. The opportunity of efficient use of non-specialized vessels for the carriage of project cargo can be determined by the factors such as the dimensions and design of hatches, the size and shape of holds, deck dimensions, deck equipment and ship's cargo gears. Apart of that, availability of deck standers and structures may interfere with the stowage and disposition of cargo, maximum permissible loads and allowable strength limits may have impact on the deck cargo distribution and methods of deck cargo securing, the influence of the deck cargo on the ship's seaworthiness and navigation safety, maneuverability and others.

Conclusions. The value of average *TCE* evaluated by the formula for all provided applicant vessels under conditions they operated at passport speeds. *TCE* shows the profit that the ship-owner receives on the daily basis of operation of the vessel, without deducting the costs of maintaining the vessel (operating costs), which are constant. By comparing the *TCE* obtained from the preliminary calculation of the proposed traffic, the ship-owner can evaluate which

proposal is most profitable for him. It can also compare *TCE* with the proposed time-charter rental rate, which will help to decide whether to fix the vessel on a time-charter or whether it is profitable to do it on a voyage basis. Bulk carriers and dry cargo vessels are less suited for carriage of oversized cargo than specialized vessels. However, dry cargo vessels a subject for hire at much cheaper rates. As a result, when making a reasonable choice of vessel type and *TCE* comparison, operating revenues of dry cargo vessels may exceed the operating revenues of specialized vessels. Data analysis showed that for some types of non-specialized dry cargo vessels the value of the *TCE* significantly exceeds the *FRTC* market values, which opens new opportunities for non-specialized vessels to be effectively used in project cargo transportation. Therefore, further research aimed at developing more advanced methods for assessing the efficiency of operation of ships and substantiating the optimal selection techniques for non-specialized vessels, taking into account the possibility of their use for transportation of project cargoes, is of great practical interest.

References:

1. V. Pavlov, N. Troitskaya (1995) Transportation of bulky and heavy cargo. Moscow : Transport. S. 7–17, 41–48.
2. T. Amirov (1985) Transportation of bulky heavy cargo. Moscow : Express Information of the Central Scientific and Technical Library of the Ministry of Transport. Issue 7. S. 41–47, 49–52.
3. G. Pisarevsky. The economy of transportation of bulky goods in rail. Moscow: Intext, 1998. 83 p.
4. O. Akimova, O. Melnyk (2018) Organizational aspects of project cargo transportation. *Visnik OMNU*. No. 3(56).
5. O. Melnyk (2019) Overview of the state of research of transportation of oversized cargoes in Ukraine, "Transport Systems and Technologies" Issue 34.
6. O. Melnyk (2019) Problem statement and prospects for the development of oversized cargo transportation in Ukraine. *Shipping and Navigation*. Issue 29.
7. O. Melnyk (2019) Safety issues of oversized cargo transportation be sea. Scientific and Technical Collection "Municipal Economy of Cities" Issue 152, vol 6.
8. O. Shibaev, O. Akimova, (2014) Ship's speed (terminology, concept, content). Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education. Sworld.
9. A. Rakhovetsky (1986) Operational freight activity in maritime transport. Moscow : Transport, 160.
10. A. Rakhovetsky. The effectiveness of the voyage of a sea vessel. Moscow : Transport, 1989.
11. I. Kapitonov. Reserves of the efficiency of operation of sea vessels. Moscow : Transport, 1990. 221 s.
12. I. Lapkina, O. Akimova. Determination of the optimum operational speed of container ships with a change in traffic volumes on the line. *Method and management of transport systems development*. Number 18, Odessa. 2011. P. 165–181.
13. E. Drozd, I. Kapitonov. (1998) Running mode of ships depending on operating conditions and time-charter. *Navigation*. 1998. No. 6-7. S. 73–74.
14. I. Lapkina, M. Malaksiano, V. Glavatskih. To the issue of the possibility of operating vessels at slow speeds, Vernadsky. *Seriya: Technical Sciences*. 2019. V. 30 (69), Part 2, No. 4. P. 134–140.
15. Notteboom T. Fuel surcharge practices of container shipping lines. *Institute of Transport and Maritime Management Antwerp*. 2009. Vol 37.
16. I. Lapkina, M. Malaksiano, V. Glavatskih. A multicriteria approach to substantiating the choice of a project for the acquisition and operation of a bulk carrier vessel. *Sciences Works DUIT. Seriya "Transport systems and technologies"*. 2019. Vip. 33. T. 2. S. 99–110.
17. F. Vaskevich, O. Kalinin, S. Smolnikov. Choice of the optimal mode of operation of the vessel according to the criterion of maximum profit, taking into account the characteristics of the ship's power plant and external conditions. *News of universities. North Caucasian region. Technical science*. 2012. No 2. P. 124–127.
18. A. Loshkarev, V. Stepkova. Commercial operation of ships. Workshop Kherson. Kherson State Maritime Academy. 2012.
19. Materials and publications. URL : www.freightwaves.com.

Малаксіано М.О., Мельник О.М. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СУДЕН З ОГЛЯДУ НА МОЖЛИВІСТЬ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ

Країни південно-східної Азії є одними з найбільших у світі імпортерів навалювальних вантажів, а також експортерами значних обсягів проектного обладнання, що складають важковагові та негабаритні вантажі, перевезення яких здійснюються на спеціалізованих судах, побудованих та розрахованих під такий тип перевезення. Значна кількість суховантажних суден у тому числі суден-балкерів та контейнеровозів, які складають вільний тоннаж, у цьому географічному районі залишаються здебільшого без завантаження у зворотному напрямку, тому вимушені здійснювати баластний перехід. Оцінка можливості використання таких неспеціалізованих суден для перевезення негабаритних проектних вантажів, перш за все, базується на оцінюванні ефективності роботи судна в ситуації, коли у прямому напрямку судно завантажують навалювальним вантажем (із Європи), і у зворотному напрямку (з Південно-Східної Азії) воно може бути використано для перевезення негабаритного проектного вантажу. Із погляду на те, що конструкція суховантажів та контейнерних суден не є оптимальною для таких перевезень, у більшості випадків для адаптації таких неспеціалізованих суден для перевезення важких і негабаритних вантажів необхідні також певні дослідження для оптимізації завантаження, розміщення та забезпечення безпеки вантажу під час морського перевезення, оцінки придатності вантажних приміщень та палуб, їх міцності, стійкості та безпеки судна у цілому. У деяких випадках може знадобитися також обґрунтування додаткових заходів для переоснащення конструктивних елементів та судових пристроїв. Тому досить актуальними є питання, що пов'язані з розробленням заходів, що спрямовані на підвищення ефективності морських перевезень, виходячи із зазначеної специфіки та структури вантажопотоку. Метою даної роботи є розроблення методики обґрунтування вибору суден, зважаючи на можливість їх експлуатації для перевезень негабаритних проектних вантажів, використовуючи порівняльний аналіз показників ефективності роботи судна.

Ключові слова: негабаритні проектні вантажі, неспеціалізовані судна, фрахтова ставка.

БУДІВНИЦТВО

УДК 72.01

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/26>**Чубарова Д.С.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ТИПОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА ПАРКІНГІВ

У роботі конкретизовано визначення терміну «архітектурне середовище паркінгів». Розглянуто особливості формування архітектурного середовища паркінгів з урахуванням основних критеріїв їх диференціації: містобудівних, архітектурних, технічних. Визначено, що містобудівні критерії регламентують специфіку організації архітектурно-просторового середовища паркінгу з точки зору нормованих відстаней до житлових і громадських будівель; архітектурні критерії регламентують фізичні розміри будівель паркінгів: довжину, ширину, висоту, характер застосування оздоблювальних матеріалів і наявність певного художнього образу будівлі, який збагачує міське середовище; технічні критерії регламентують формування комунікаційної структури об'єкта з визначенням засобів пересування по горизонталі та вертикалі.

Розглянуто вплив науково-технічного прогресу на створення нових напрямів у будівництві, незвичайних для споруд паркування конструктивних схем і матеріалів несучих і огорожувальних конструкцій. Сформульована типологічна характеристика паркінгів залежно від різних критеріїв: за характером об'ємно-просторової комунікації, за характером композиційної структури, за характером конструктивного рішення і застосовуваних матеріалів, за характером комунікаційної структури, залежно від функціонального призначення, залежно від місткості, залежно від поверховості, за тривалістю зберігання, залежно від організації зберігання, залежно від типу організації конструкції, залежно від умов зберігання, залежно від характеру рельєфу, залежно від соціального статусу. Окремо виокремлені типи багатоярусних автоматичних і багатоярусних напівавтоматичних (механічних / механізованих) паркінгів.

Ключові слова: паркінг, архітектурне середовище паркінгів, конструктивне рішення паркінгів, типологія паркінгів, рампа, багатоярусний паркінг.

Постановка проблеми. Нові та досить складні проблеми, викликані дією науково-технічного прогресу і розвитком автомобілізації населення, набувають дедалі більшого значення. Загальна чисельність парку легкових автомобілів має тенденцію до значного зростання, тому виникає необхідність створення архітектурних об'єктів для зберігання транспортних засобів [1, с. 3].

Паркінги є специфічними об'єктами, які включають архітектурний та інженерно-технічний складники. З їх допомогою й створюється архітектурне середовище паркінгів. Архітектурне середовище в цьому контексті є засобом формування матеріально-просторового оточення об'єкта відповідно до певних вимог. Одна з основних вимог – створення безпечного комфортного середовища з художньо-естетичною функцією. Проблема створення середовища – це проблеми по суті людські, що відображають необхідність створення певних процесів життєдіяльності людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанню класифікації і термінології в області автомобільних стоянок, гаражів і парковок у містобудівній практиці присвячено достатню кількість досліджень і наукових конференцій такими авторами, як С.Г. Гнездилов, Б.Ф. Серебров, К.А. Яковенко. Однак залишається безліч невирішених питань щодо класифікації такого нового об'єкту середовища, як паркінг. Опираючись на ці дослідження, в статті формується типологічна характеристика архітектурного середовища паркінгів.

Мета дослідження – виявити типологічну характеристику архітектурного середовища паркінгів.

Завдання дослідження:

1. Уточнити термінологічний апарат дослідження.
2. Розглянути особливості формування архітектурного середовища паркінгів.

3. Сформувати типологічну характеристику архітектурного середовища паркінгів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Підвищення ефективності та актуальності споруджуваних будівель паркінгів не можливе без детального розгляду елементів об'ємно-планувальної структури, обліку всіх технологічних вимог, розробки конструктивних систем та їх елементів для паркінгів [1, с. 6]. Аналіз критеріїв, які впливають на формування архітектури паркінгів у міському середовищі, необхідний для виявлення основних закономірностей їх створення та визначення типологічних характеристик цих об'єктів.

Архітектурне середовище паркінгів – це цілісний предметно-просторовий комплекс, який включає в себе як сам об'єкт паркування з системою необхідних проїздів, так і набір елементів благоустрою, озеленення, освітлення, елементів інфоіздизайну, які сприяють оптимальному функціонуванню об'єктів паркування і створенню комфортного оточення людини.

Розгляд особливостей формування архітектурного середовища паркінгів з урахуванням основних критеріїв їх диференціації (містобудівних, архітектурних, технічних) дозволяє виявити їх типологічну характеристику. Містобудівні критерії регламентують специфіку організації архітектурно-просторового середовища паркінгу з точки зору нормованих відстаней до житлових і громадських будівель. Цей показник визначає характеристики розміщення споруди паркування відносно вулично-дорожньої мережі міста: вулична, позавулична, а також рішення під'їздів і в'їздних груп, місткість об'єктів [3, с. 205–211]. Архітектурні критерії регламентують фізичні розміри будівель паркінгів: довжину, ширину, висоту, характер застосування оздоблювальних матеріалів і наявність певного художнього образу будівлі, який збагачує міське середовище. Технічні критерії регламентують формування комунікаційної структури об'єкта з визначенням засобів пересування по горизонталі та вертикалі. Ці критерії визначають типологію паркінгів:

– За характером об'ємно-просторової комунікації вони можуть бути розташованими окремо, бути прибудованими, вбудованими, комбінованими. Найбільш ефективні паркінги ті, які побудовані окремо, особливо баштового типу. Вбудовані та прибудовані паркінги інтегруються в будівлі громадського призначення з офісною, торговельною, розважальною та іншими функціями [6, с. 87–92].

– За характером композиційної структури паркінги можуть бути з горизонтальною, вертикальною або змішаною структурами [5, с. 3–7]. У горизонтальній структурі рух автомобілів здійснюється в основному з використанням рамп. З вертикальною структурою будівлі паркінги можуть бути як із застосуванням рамп, так і автоматизованими, але найбільш поширеними є будівлі з автоматизованим типом [5, с. 3–7].

– За характером конструктивного рішення і матеріалів паркінги можуть бути: із застосуванням залізобетонних конструкцій, із застосуванням металоконструкцій [5, с. 3–7]. Є затребуваними паркінги із залізобетону. Дуже активно починають використовувати структурні, конструкційні та естетичні можливості цього матеріалу. Пластичність бетону використовується для створення спіральних структур підйомних рамп і пандусів, а також похилих рівнів – палуб. Монолітні конструкції таких парковок створюють однорідну форму і цілісний образ усієї споруди [5, с. 3–7].

Габарити автотранспорту диктують розміри і структуру паркінгу. Найбільш поширена конструкція – каркас із регулярною сіткою колон із кроком до 7,2 м з бетону без попереднього напруження.

Важливу роль у формуванні архітектурного образу споруди відіграє здатність бетону мати різну фактуру і характер поверхні. З цією метою застосовують різні матеріали опалубки, способи обробки поверхні і облицювальні фарбувальні матеріали. Поширене створення образу паркінгу, органічно включеного в будь-яке міське середовище. Так виникає комбінування залізобетонного каркаса споруди з цегляною кладкою суцільних фасадів, а також сталевих решіток, перфорованих панелей. Багаторівневі великі автостоянки стали виглядати відносно легкими. Паркінги із застосуванням металоконструкцій будують все більше.

Науково-технічний прогрес впливає як на створення нових напрямів у будівництві, так і на виробництво, створення нових матеріалів, незвичайних для споруд паркування конструктивних схем споруди, матеріалів несучих і огорожувальних конструкцій. Просторова структура будівлі, яка складається з різних елементів, повинна забезпечувати міцність і стійкість. Основні види конструктивних схем, прийняті в практиці будівництва: стінна, каркасна і ствольна схеми пристрою пересування автомобілів по вертикалі рампи або механізовані пристрої (наприклад ліфти) також є основою для вибору конструктивної схеми відповідно до архітектурно-планувальних принципів формоутворення.

За характером комунікаційної структури (спосіб переміщення автомобілів) паркінги можуть бути рампові, багатоярусні автоматичні, багатоярусні напівавтоматичні (механічні, механізовані паркінги) [6, с. 87–92]. Визначальною відмінністю між ними є ступінь участі людини в процесі паркування автомобілів. У багатоярусних автоматичних системах його зведено до мінімуму з отриманням високого рівня комфорту користувача, тоді як у напівавтоматичних (механічних / механізованих) ступінь участі людини значно вище (необхідно самостійно заганяти і виганяти автомобіль з місця зберігання) при значно меншому рівні комфорту користувача [2, с. 12–14].

У рампових паркінгах здійснюється рух у природному режимі за рахунок застосування рамп-пандусів. Вони досить різноманітні за своїми характеристиками. Рампи можуть бути як прямими, так і спіралевидними, але найбільш ефективними є багатоярусні автоматичні і напівавтоматичні паркінги. Багатоярусний автоматичний паркінг, виконаний у двох і більше рівнях металевої або бетонної конструкції-споруди для зберігання автомобілів, в якому паркова-видача здійснюється в автоматичному режимі з використанням спеціальних механізованих пристроїв.

Переміщення автомобіля всередині паркінгу відбувається з вимкненим двигуном автомобіля (без присутності людини). Порівняно з традиційними паркінгами значно економиться площа, відведена під парковку, за рахунок можливості розміщення більшої кількості машино-місць на тій же площі забудови [2, с. 12–14]. У багатоярусних автоматичних паркінгах парковка-видача автомобілів відбувається у повністю автоматичному режимі. Водій заїжджає на автомобілі в приймальний відсік паркінгу, вимикає двигун, закриває автомобіль, ставить його на сигналізацію і виходить із приміщення приймального відсіку паркінгу, на пульті управління паркувальної системи підтверджує своє бажання поставити автомобіль на парковку, зовнішні ворота приймального відсіку закриваються, після чого обладнання паркінгу переміщує автомобіль у приміщення зберігання паркінгу, доставляючи його в потрібну комірку зберігання. Крім того, за рахунок можливості корекції розміщення автомобіля відносно центральної осі можна зменшити ширину машино-місця до 2 300 мм, що абсолютно не можливо при використанні палетних систем.

Слід зазначити, що термін «багатоярусні автоматичні паркінги» іноді вживається в разі узагальненої назви усіх паркінгів і автоматичних,

і напівавтоматичних (де використовуються механічні, механізовані, роботизовані пристрої). Багатоярусні автоматичні паркінги можуть бути:

- баштового типу – принцип роботи заснований на русі швидкісного підйомника в башті, по обидва боки від якого розташовані машино-місця зберігання;

- багатоярусний автоматичний паркінг типу «Тауер». Це вертикально-орієнтоване рішення може бути підземно-надземним, підземним, надземним, вбудованим, прибудованим і окремо-стоячим. Сучасна версія баштового типу передбачає розміщення значно більшої кількості машино-місць на одному ярусі зберігання [6, с. 87–92];

- конвеєрні або касетного типу – робота механізмів цієї системи схожа з принципом роботи конвеєра (горизонтальне зміщення піддонів усього рівня), по обидва боки якого розташовані підйомники (переміщення вертикально). Це горизонтально-орієнтоване рішення, яке може бути підземно-надземним, підземним, надземним, вбудованим, прибудованим і окремо-стоячим [6, с. 87–92];

- пазлового типу, музичного типу – принцип роботи заснований на почерговому переміщенні піддонів по вертикалі і горизонталі;

- змішаного типу – принцип роботи заснований на роботі вертикально рухомих підйомників і горизонтально рухомих роботів-транспортів, які працюють на різних рівнях одночасно (окремих випадок).

У багатоярусних напівавтоматичних (механічних, механізованих) паркінгах водій заїжджає не в приймальний відсік, як в автоматичній системі, а безпосередньо на піддон у конструкції механічного паркінгу, який одночасно є і осередком зберігання автомобіля в паркувальній системі. Паркувальна система, переміщаючи піддон з автомобілями, звільняє місце порожньому піддону для паркування нового автомобіля або забезпечує транспортування певного автомобіля для видачі із паркувальної системи.

Залежно від варіанту переміщення піддонів (осередків зберігання автомобіля) такі паркінги можуть бути роторного або карусельного типу – механізм паркінгу працює за принципом великої каруселі, де логічний контролер управління самостійно обирає оптимальний шлях доставки автомобіля, обертаючи механізм у ту чи іншу сторону. Це вкрай ефективний спосіб розміщення автомобілів по круговій траєкторії (каруселі) місткістю від 8 до 12 автомобілів при займаній площі парковки двох-трьох автомобілів. Конструкцію можна

зробити криту з використанням поворотної системи і передбачити ручний привід при відмові системи управління. Роторна парковка оптимальна в житлових і виробничих зонах. Залежно від функціонального призначення паркінги можуть бути монофункціональними, поліфункціональними. Монофункціональні паркінги в об'ємно-просторову структуру будівлі включають тільки систему паркувальних місць. Поліфункціональні паркінги крім паркувальних місць включають у свою структуру об'єкти з різним функціональним призначенням: торгові, офісні, розважальні та інші [3, с. 205–211].

Залежно від місткості (за кількістю машиномісць) паркінги можуть бути малими 10-30 машиномісць, середніми 50-100 машиномісць, великими 100 і більше машиномісць. Найбільшого поширення отримують середні по місткості паркінги, розраховані на 100 машиномісць [5, с. 3–7].

Залежно від поверховості паркінги можуть бути 1-2-х поверховими, середньої поверховості (до 6 поверхів), підвищеної поверховості, більше 6 поверхів (до 16 поверхів). Найбільш поширені паркінги середньої поверховості (до 6 поверхів), але останнім часом все більше створюють паркінгів більше 10-ти поверхів.

За тривалістю зберігання паркінги можуть бути призначені для постійного зберігання, тимчасового зберігання, сезонного зберігання [7, с. 617–640]. Для постійного (цілодобового) зберігання передбачаються ділянки для паркінгу в житловій зоні або максимально наближені до неї в межах пішохідної доступності [4, с. 66–70]. Для тимчасового зберігання (протягом декількох годин або діб) паркінги розміщують поблизу місць масового відвідування, передбачаючи розміщення різногабаритних машин [7, с. 617–640]. Для сезонного зберігання паркінги розміщують поблизу об'єктів літнього і зимового відпочинку для автомобілів, які не мають постійних місць зберігання і не використовуваних цілодобово [7, с. 617–640].

Залежно від організації зберігання паркінги можуть бути манежними, боксовими, осередковими, комбінованими. Залежно від типу організації конструкції паркінги можуть бути закритими, відкритими, комбінованими [5, с. 3–7]. Залежно від умов зберігання паркінги можуть бути неопалювальними, опалювальними, комбінованими [4, с. 66–70]. Залежно від характеру рельєфу паркінги можуть бути площинними, з незначним перепадом рельєфу, з високим перепадом рельєфу [4, с. 66–70]. Залежно від соціального статусу пар-

кінги можуть бути приватними, півприватними, напівсуспільними, громадськими.

Висновки. Паркінги є специфічними об'єктами, які включають архітектурний та інженерно-технічний складники. З їх допомогою створюється архітектурне середовище паркінгів – цілісний предметно-просторовий комплекс, який включає в себе як сам об'єкт паркування з системою необхідних проїздів, так і набір елементів благоустрою, озеленення, освітлення, елементів інфодизайну, що сприяють оптимальному функціонуванню об'єктів паркування і створенню комфортного оточення людини. Розгляд особливостей формування архітектурного середовища паркінгів з урахуванням основних критеріїв їх диференціації (містобудівних, архітектурних, технічних) дозволяє виявити їх типологічну характеристику.

У статті розроблено типологічну характеристику архітектурного середовища паркінгів за різними критеріями. За характером об'ємно-просторової комунікації вони можуть бути такими, що стоять окремо, прибудованими, вбудованими, комбінованими. За характером композиційної структури паркінги можуть бути із горизонтальною структурою, з вертикальною структурою, зі змішаною структурою. За характером конструктивного рішення і застосовуваних матеріалів паркінги можуть бути із застосуванням залізобетонних конструкцій, із застосуванням металоконструкцій. За характером комунікаційної структури (спосіб переміщення автомобілів) паркінги можуть бути рамповими, багатоярусними автоматичними, багатоярусними напівавтоматичними (механічними, механізованими паркінгами).

Залежно від функціонального призначення паркінги можуть бути монофункціональними, поліфункціональними. Залежно від місткості (за кількістю машиномісць) паркінги можуть бути малими (10-30 машиномісць), середніми (50-100 машиномісць), великими (100 і більше машиномісць). Залежно від поверховості паркінги можуть бути 1-2-х поверховими, середньої поверховості (до 6 поверхів), підвищеної поверховості, більше 6 поверхів (до 16 поверхів).

За тривалістю зберігання паркінги можуть бути призначені для постійного зберігання, тимчасового зберігання, сезонного зберігання. Залежно від організації зберігання паркінги можуть бути манежними, боксовими, осередковими, комбінованими. Залежно від типу організації конструкції паркінги можуть бути закритими, відкритими, комбінованими. Залежно від умов зберігання паркінги можуть бути неопалювальними,

опалювальними, комбінованими. Залежно від характеру рельєфу паркінги можуть бути площинними, з незначним перепадом рельєфу, з високим перепадом рельєфу. Залежно від соціального статусу паркінги можуть бути приватними, півприватними, напівсуспільними, громадськими.

Окремо розглянуті типи багатоярусних автоматичних паркінгів баштового типу, багатоярусний автоматичний паркінг типу «Тауер», конвеєрні, касетного типу, пазового типу, змішаного типу. Залежно від варіанту переміщення піддонів (осередків зберігання автомобілів) такі паркінги можуть бути роторного типу, карусельного типу.

В умовах масової індустріальної забудови і безликої міського середовища в серединній і периферійній зонах міста особливо необхідне створення об'єктів із високою інформативністю. Такими об'єктами повинні стати паркінги. Інформативність повинна забезпечуватися спеціальними навігаційними системами в структурі будівель. Паркінги у великих містах повинні стати активними об'єктами у формуванні архітектурно-просторової структури міста, що покращує його еколого-естетичні характеристики, які сприяють гуманізації середовища життєдіяльності людини.

Список літератури:

1. Голубева Е.А. Гуманізація архітектурної середовища паркінгів в структурі міста: на прикладі г. Єкатеринбурга : дисертація кандидата архітектури: 18.00.01 / Голубева Е.А. Єкатеринбург, 2007. 170 с.
2. Гнездилов С.Г. Развитие классификации и терминологии в области механизированных автомобильных стоянок / С.Г. Гнездилов. 2009. № 5–6. 22 с.
3. Коновалова Т.В. Антонова О.Н. Обоснование эффективности организации автомобильных стоянок в городах / Т.В. Коновалова // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2012, Т. 2 С. 205–211.
4. Поддубный В.В. Принципы формирования проектных решений по строительству подземных гаражей и паркингов / В.В. Поддубный // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2005, № 4. 14 с.
5. Серебров Б.Ф. Многоэтажные гаражи и автостоянки [Текст] : Учебное пособие / Б.Ф. Серебров. Новосибирск : НГАХА, 2005. 131 с.
6. Яковенко К.А. Сравнительный анализ многоэтажных надземных и подземных парковок / К.А. Яковенко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2016. Вип. 3. С. 87–92.
7. Вотінов М.А., Чубарова Д.С. Специфіка та перспективні тенденції формування архітектурного середовища паркінгів у міському середовищі. Development of modern science: the experience of European countries and prospects for Ukraine : monograph / edited by authors. 3rd ed. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2019. 662 p. / P. 617–640.

Chubarova D.S. TYPOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF PARKING

The definition of the term “architectural environment of parking” is specified. The features of formation of architectural environment of parking are considered with consideration of the main criterion of their differentiation: urban, architectural, technical. It is determined that urban planning criteria regulate the specific organization of architectural and spatial parking environment in terms of standard distances to residential and public buildings, architectural criteria regulate the physical size of buildings of parking: length, width, height, nature of the use of decorative materials and the availability of decorative materials enriches the urban environment, technical criterion regulate the formation of the communication structure of the object with the definition of means of movement across the horizon hoists and verticals.

The influence of scientific and technological progress on the creation of new directions in construction, unusual for the construction of parking circuits and materials of load-bearing and enclosing structures, is considered. The typological characteristic of parking lots is formulated, depending on different criteria: by the nature of the spatial-spatial communication, depending on the composite structure, by the nature of the constructive solution and the materials used, by the nature of the communication structure, depending on the functional purpose, depending on the surface, by storage duration, depending on storage organization, depending on the type of construction organization, depending on storage conditions, depending on the nature of the relief, depending of social status. Separately selected types of multi-level automatic and multi-level semi-automatic (mechanical / mechanized) parking lots.

Key words: parking, architectural environment of parking, constructive design of parking, typology of parking, ramp, multilevel parking.

ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.4:332.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/27>

Анопрієнко Т.В.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Пілічева М.О.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Маслій Л.О.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Куліш Ю.Р.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

У статті досліджено сучасні тенденції розвитку інформаційного забезпечення земельного кадастру та особливостей оприлюднення земельно-кадастрових даних за кордоном та в Україні, бо це є основою під час прийняття рішень щодо розпорядження земельними ресурсами на різних адміністративно-територіальних рівнях.

Розглянуто систему земельного кадастру Франції, яка ведеться на електронній кадастровій карті країни, де можна онлайн отримати просторову інформацію про земельні ділянки, але для отримання даних про власника необхідно робити офіційний запит. Проаналізовано кадастрову систему Іспанії. Вона складається з реєстру прав і кадастрової карти та поділяється на міську і сільську. Інформація, що міститься в земельному кадастрі Іспанії, відображає і сучасний стан земель, і показує зміни. США не мають єдиної кадастрової системи земельних ділянок, у кожному штаті діє своя система. Визначено, що земельний кадастр Канади дає змогу отримати повну інформацію про земельну ділянку, а також виконати історичний пошук усіх її власників.

Державний земельний кадастр Республіки Білорусь складається з п'яти складників і забезпечується проведенням різноманітних обстежень і вишукувань, інвентаризацією та кадастровою оцінкою земель. Встановлено, що публічна кадастрова карта Грузії створена на основі сервісу Google Map і являє собою систематизовану єдність даних реєстрів муніципалітетів.

Відомості Державного земельного кадастру України оприлюднено на офіційному вебсайті: просторові дані про земельні ділянки, кадастрові номери, цільове призначення, розподіл земель за формами власності, угіддями, між власниками та користувачами, видами речових прав та обмежень у їхньому використанні, дані кількісного й якісного обліку земель, їхню грошову оцінку та бонітування ґрунтів. Встановлено, що розвиток інформаційного забезпечення земельного кадастру в Україні подібний до світових тенденцій, при цьому має свої особливості – виявлення недоліків і процес систематичного їхнього усунення. Як і у світі, Державний земельний кадастр України розвивається, при цьому цей процес є динамічним і постійним.

Ключові слова: земельний кадастр, публічна кадастрова карта, інформаційне забезпечення, земельна ділянка, реєстраційна система.

Постановка проблеми. Інформаційне забезпечення земельного кадастру – це система для збору та обробки, а також надання необхідної інформації, яка потрібна для прийняття рішень щодо розпорядження земельними ресурсами на різних адміністративно-територіальних рівнях. Інформа-

ційним забезпеченням вважаються нормативно-правові та довідкові дані, поточні й облікові відомості, відомості архівів тощо.

Узагальнення даних щодо земельного фонду адміністративно-територіальних одиниць, проведення аналізу наявності й ефективності

використання земель здійснюються на основі офіційних даних статистичної звітності з кількісного та якісного обліку земель, яка є інформаційною базою ведення Державного земельного кадастру. Звітність містить характеристику земель за категоріями, землевласниками та землекористувачами, складом угідь, а також видами економічної діяльності за розділами у розрізі адміністративно-територіальних одиниць (усього) та у межах населених пунктів.

Моніторинг земель – один із сучасних заходів забезпечення відповідних органів інформацією щодо поточного стану земель, який передбачає проведення спостережень за станом земельного фонду, з метою своєчасного виявлення змін, оцінки за різноманітними параметрами, запобігання та ліквідації наслідків несприятливих процесів.

Отже, інформаційне забезпечення земельного кадастру відіграє важливу роль під час прийняття управлінських рішень суб'єктами землеустрою, збереження земельного фонду країни та покращення його якісних характеристик, забезпечення національної безпеки тощо. Тому дослідження тенденцій розвитку інформаційного забезпечення кадастру є актуальним завданням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Кількість досліджень досвіду ведення та розвитку земельного кадастру збільшилась у кінці 90-х років минулого століття і перше десятиріччя нинішнього, що притаманне бурхливому розвитку державного земельного кадастру (далі – ДЗК) України. При цьому роботи вчених можна поділити на такі: вдосконалення нормативно-правової бази ведення ДЗК (присвячено роботи В.І. Андрейцева, П.Ф. Кулинич, В.В. Носіка, А.М. Мірошніченка, А.І. Ріпенка), технічної підтримки ведення ЗК та автоматизації земельно-кадастрових робіт (праці М.О. Володіна, В.П. Єршова, М.Г. Лихогруда), теоретичні питання методичних підходів до земельно-оцінних робіт (роботи А.П. Вервейко, Д.С. Добряка, П.Г. Казьміра, А.Я. Сохнич, М.Г. Ступеня, А.М. Третяка).

При цьому необхідно зазначити дослідження Р.М. Панаса, М.С. Маланчук [1], І.А. Опенька [2], Р.Б. Таратули [3], у яких наведено підходи до ведення земельного кадастру та особливості оприлюднення земельно-кадастрових даних у зарубіжних країнах та в Україні.

Проте постійні зміни земельного законодавства та нововведення у роботі Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру України [4], а також недостатній рівень інформаційного

забезпечення земельного кадастру землевпорядною документацією зумовили потребу подальших досліджень у цьому напрямі.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження сучасних тенденцій розвитку інформаційного забезпечення земельного кадастру та особливостей оприлюднення земельно-кадастрових даних закордоном і в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розвиток інформаційного забезпечення земельного кадастру у країнах Європи та Північної Америки відбувається значно швидше, ніж у країнах пострадянського простору.

Найбільш розвинутою в Європі вважається система земельного кадастру у Франції. Її головна мета – справедливість і достовірність оподаткування землевласників і землекористувачів. До обов'язків Національної служби кадастру належить реалізація повноважень у адміністративному, юридичному та технічному напрямках.

Обов'язки адміністративної служби полягають у:

- формуванні кадастрових реєстрів;
- реєстрації права власності на земельку ділянку;
- видачі копій і витягів із кадастрової документації;
- оподаткуванні.

Обов'язки юридичної служби складаються з:

- розмежування власності на землю;
- ідентифікації даних про землю;
- ведення земельно-кадастрової книги.

Обов'язки технічної служби полягають у:

- відновленні застарілих картографічних планів;
- координації, перевірці та централізація знімання земельних ділянок;
- збереженні межових знаків і геодезичної мережі загалом.

Копію матеріалів кадастру на місцевому рівні зберігають у місцевій мерії або в Центрі визначення земельного податку. Громадяни мають право доступу до цих документів [5]. Також інформацію можна переглянути онлайн на кадастровій карті сайту органу ведення земельного кадастру Франції [6], яка складається з 597 212 планів, з них 580 670 векторних і 16 542 відсканованих (растрових) планів. За допомогою цього ресурсу можна переглянути земельні ділянки або ділянки забудови, вимірювати їхню площу, завантажити плани реєстрованих земельних ділянок, замовити паперову копію плану або роздрукувати безпосередньо з електронного ресурсу. На сайті Національного інституту географії [7] є можливість

накладення кадастрової інформації на аерофотознімки та високоякісні карти Geoportail або космічні знімки Google Earth (рис. 1).

Але на кадастровій карті не вказана особиста інформація про власника, право володіння земельною ділянкою, а також сума, сплачена попередньому власнику. Для отримання подібної інформації необхідно звернутися до земельного кадастру муніципалітету, де можна одержати відповідну виписку. Також можна звернутися у місцеву мерію, яка зобов'язана надати повну інформацію кадастру, але робиться це офіційно – за письмовим запитом. А крім того, можна звернутись в орган земельного оподаткування тієї адміністративної одиниці, де розміщена земельна ділянка [5].

Як і в інших країнах, на кадастровій карті Франції присутня інформація, яка потребує уточнення та корегування, тому роботи щодо актуалізації даних постійно тривають.

Щодо кадастру Іспанії, то він має фіскальний характер. Кадастрова система цього типу зазвичай складається з картографічної і текстової частин. У кадастр включені реєстр прав і кадастрові карти. Реєстри, як правило, взаємодіють, але не інтегровані. Додатково в кадастр включаються реєстри, що містять відомості природного та кліматичного характеру (дані про ґрунти та природні ресурси). Особливістю земельного кадастру Іспанії [8] є розділення його на міський і сільський. Сільський кадастр ведеться за двома напрямками:

- інвентаризація земель сільськогосподарського призначення для цілей реєстрації;
- використання кадастру для цілей оподаткування.

Інформація, що міститься в земельному кадастрі Іспанії, відображає не лише дані про сучасний стан земель, а й показує зміни різного характеру: фізичного, економічного й юридичного. Реєстрація зазначених змін у кадастрі не лише дозволяє розширити інформаційну базу для проведення максимально точних оцінок земель і прогнозів їхнього використання, а й забезпечує потенційного покупця земель інформацією щодо попередніх власників та про форми використання ними конкретної території.

Попри велику територію, Сполучені Штати Америки не мають єдиної кадастрової системи земельних ділянок, у кожному штаті діє своя система. Але загалом усі системи базуються на єдиних основних принципах. Територія кожного штату поділяється на кадастрові блоки та секції. Спочатку територія штату ділиться на чотири великі частини (по горизонталі – базовою лінією, по вертикалі – головним меридіаном). Наступний рівень поділу – колони та рядки, які утворюють квадрати зі стороною 6 миль. І сам цей квадрат ділиться на 36 частин (квадрати зі стороною в 1 милю). Кожній частині присвоюється свій ідентифікаційний номер [9].

Головною метою класифікації земель у Сполучених Штатах Америки є вирішення певних проблем та цілей під час використання земель. Однією з особливостей земельного кадастру у США є Актова система реєстрації прав, до недоліків можна віднести те, що державою не передбачено чіткого контролю за дотриманням законності операцій із землею, тобто держава виступає тільки реєстратором земельних відносин.

Свої особливості має кадастр у Канаді. Обов'язки стосовно ведення земельного кадастру

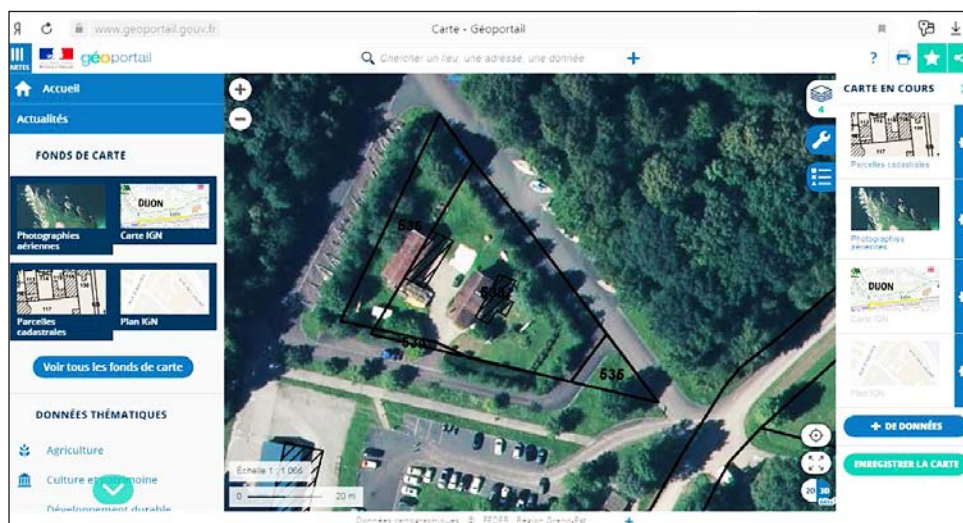


Рис. 1. Геопортал Франції [7]

виконує служба інвентаризації земель. Вона забезпечує вивчення земель за однаковими для всієї країни критеріями з метою надання повних та точних даних стосовно потенційної продуктивності земель федеральним і провінційним органам влади [10].

Такі дані слугують основою для формування оптимальної системи планування й управління земельним фондом країни, прогнозування трансформації угідь. Виділяють 4 види земель: сільськогосподарські, лісгосподарські, для рекреаційного забезпечення та відтворення фауни. Система реєстрації дозволяє отримати повну інформацію про земельну ділянку, а також виконати історичний пошук визначення всіх її власників. Це можна виконати завдяки чіткій системі нумерації прав власності та наявності картографічного матеріалу на всі зареєстровані ділянки. Історичний пошук стає корисним, наприклад, для покупців землі під час проведення операцій купівлі землі з найменшим ризиком для себе [10].

Відповідно до ст. 84 («Зміст і ведення державного земельного кадастру») Кодексу Республіки Білорусь про землю [11] Державний земельний кадастр складається з п'яти складників (рис. 2).

Єдиний реєстр адміністративно-територіальних і територіальних одиниць Республіки Білорусь містить відомості про найменування, розміри та межі адміністративно-територіальних і територіальних одиниць, їхніх адміністративних центрів.

Єдиний державний реєстр нерухомого майна, прав на нього та угод із ним містить відомості та документи щодо зареєстрованих земельних ділянок і розташованих на них об'єктах нерухомості,

зокрема відомості про місце розташування, розмір, межі, цільове призначення, права та обмеження (обтяження), у тому числі земельні сервітути, і відомості про операції з ними.

Реєстр цін на земельні ділянки містить відомості про ціни на ділянки й об'єкти нерухомості, які розташовані на них, що зафіксовані під час укладання угод з відповідними ділянками чи/та об'єктами нерухомості.

Реєстр вартості земель, земельних ділянок містить відомості про кадастрову вартість земель та окремих ділянок, отриману при проведенні кадастрової оцінки.

Реєстр земельних ресурсів Республіки Білорусь містить відомості про розподіл земель за категоріями та видами, землекористувачами, складом і структурою, станом і господарським використанням земель тощо.

Ведення земельного кадастру Республіки Білорусь здійснюється в порядку, встановленому Державним комітетом з майна, а його відомості збираються, зберігаються та використовуються на паперових та (або) електронних носіях. Ведення ДЗК Республіки Білорусь забезпечується проведенням геодезичних і картографічних робіт, ґрунтових, геоботанічних та інших обстежень і вишукувань, інвентаризацією та кадастровою оцінкою земель, земельних ділянок, іншими землевпорядними заходами, а також здійсненням державної реєстрації нерухомого майна, прав, обмежень (обтяжень) прав на нього й угод з ним, за рахунок коштів республіканського та місцевих бюджетів. Ведення єдиного державного реєстру нерухомого майна, прав на нього та угод з ним здійснюється також за рахунок інших джерел [11].

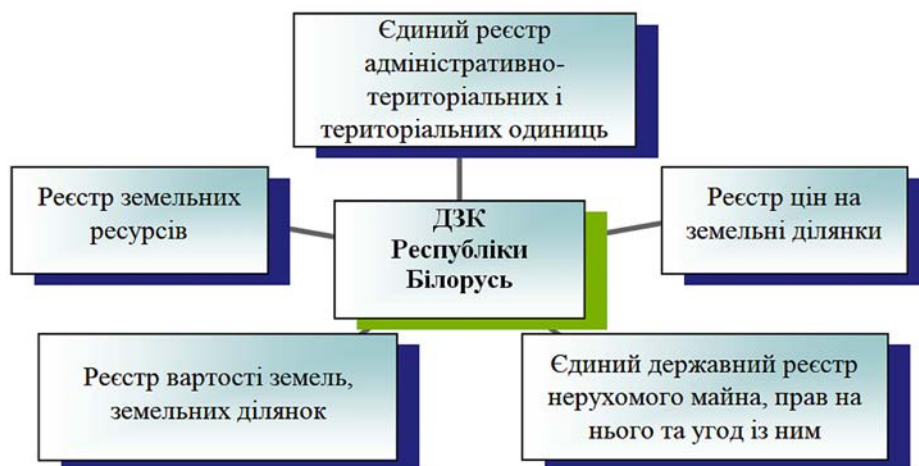


Рис. 2. Складники Державного земельного кадастру Республіки Білорусь [11]

Кадастр у Грузії став доступним із 2011 р. Аерофотознімання територій країни було здійснено за участю декількох організацій, а публічна кадастрова карта Грузії створена на основі сервісу Google Map. Інформацію можна отримати грузинською, англійською та російською мовами. Національне агентство державного реєстру Грузії веде Реєстр муніципалітетів, який являє собою систематизовану єдність даних муніципалітетів (рис. 3) [12].

За допомогою кадастрової карти Грузії можна відстежувати в режимі онлайн процес реєстрації земельної ділянки (рис. 4) [13]. Меню розділу «Послуги» повідомляє про умови надання даних про об'єкти нерухомості. Для зручності користувачів наведені інструкції для отримання відомостей про реєстрацію об'єктів, податки, банківські гарантії, застави, лізинг, заборони на операції з об'єктами тощо. При цьому послуги передбачають різні терміни їхнього виконання («звичайний», «швидкий» і «терміновий») з відповідною вартістю.

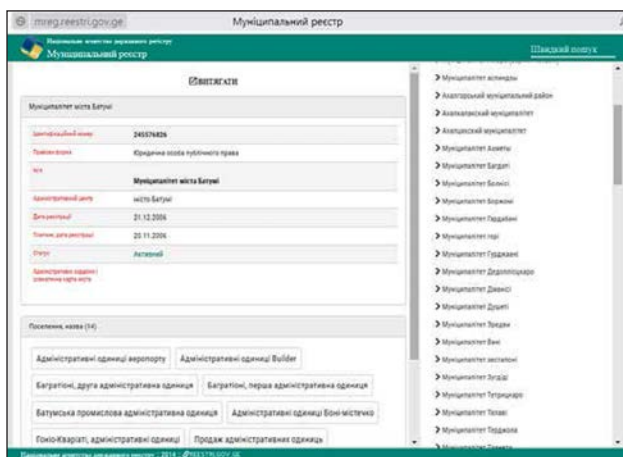


Рис. 3. Муніципальний реєстр Грузії на прикладі міста Батумі [12]

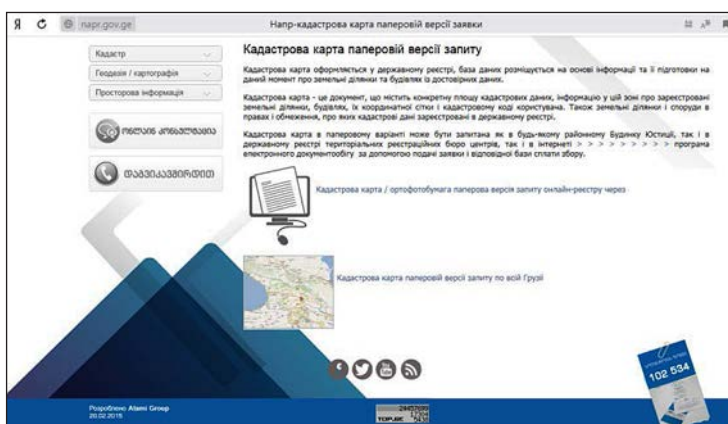


Рис. 4. Кадастрова карта паперової версії запиту по всій Грузії [13]

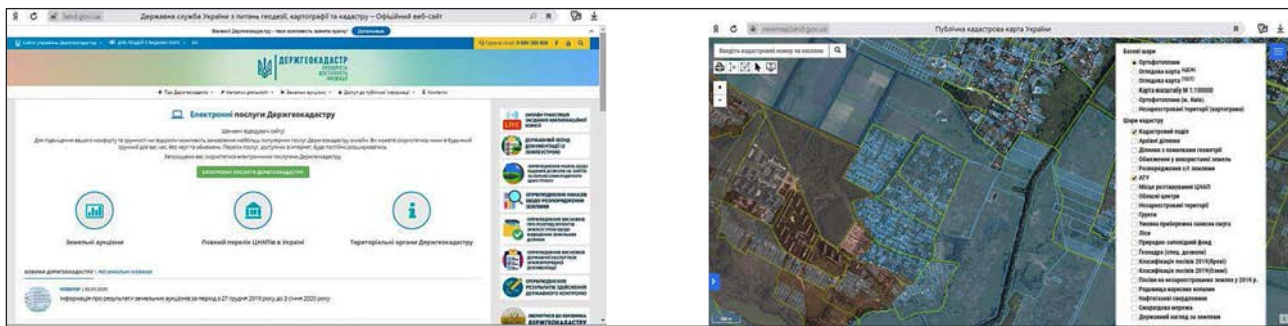
Також із порталу можна завантажити таблиці у форматі Excel, що містять статистичну інформацію з реєстрації нерухомого майна та комерційних об'єктів, згруповану за періодами [5; 12; 13].

Можливість доступу до даних Державного земельного кадастру України регламентована законодавчо. Згідно із ст. 36 Закону [14] на офіційному вебсайті Держгеокадастру України [15] оприлюднено відомості Державного земельного кадастру про межі адміністративно-територіальних одиниць і земельних ділянок і координати їхніх поворотних точок, кадастрові номери земельних ділянок та їхнє цільове призначення, розподіл земель за формами власності, угіддями, між власниками та користувачами, видами речових прав та обмежень у їхньому використанні, дані кількісного й якісного обліку земель, їхню грошову оцінку та бонітування ґрунтів (рис. 5).

При цьому пошук, перегляд, копіювання та роздрукування вищезазначених відомостей здійснюються з публічної кадастрової карти [16] як на безоплатній, так і платній основі. Зазначена законодавча норма реалізована в публічній кадастровій карті, доступ до якої встановлено через мережу Інтернет [16] з 2013 року. Пошук земельної ділянки можна виконувати як за кадастровим номером, так і за місцезнаходженням земельної ділянки. Для того, щоб дізнатися інформацію про власника/користувача земельної ділянки, необхідно знайти земельну ділянку на публічній кадастровій карті за кадастровим номером чи місцезнаходженням і пройти коротку процедуру ідентифікації [17].

Відповідно до ч. 5 ст. 38 Закону [14] на отримання відомостей ДЗК про земельну ділянку мають право: фізичні та юридичні особи (за умови ідентифікації з використанням електронного цифрового підпису або іншого альтернативного засобу ідентифікації особи), органи державної влади та місцевого самоврядування для реалізації своїх повноважень, визначених законом. Сьогодні витяг із технічної документації про нормативну грошову оцінку земельної ділянки можна замовити безкоштовно онлайн [18].

Тобто можна погодитися з авторами роботи [1], що сучасна земельно-кадастрова система, заснована на використанні сучасних інформаційних технологій, у перспективі створює можливість оперативно отримувати необхідну інформацію про землі та земельні ділянки на всій території України шляхом



а) офіційний вебсайт Держгеокадастру України [15]; б) Публічна кадастрова карта України [16]

користування відомостями про об'єкти кадастру, що відображені на цифровій картографічній основі. Тому на етапі формування єдиної національної земельно-кадастрової системи та забезпечення повної і достовірної інформації щодо правового режиму земель, їхнього цільового призначення, обмеження у їхньому використанні, а також даних про кількісну та якісну характеристику земель, їхню оцінку, про розподіл земель між власниками та користувачами, потрібно враховувати, що досі залишаються тимчасово не внесеними до земельного кадастру відомості попередніх років про всі його об'єкти, які задокументовані на паперових носіях.

Висновки. Отже, можна стверджувати, що розвиток інформаційного забезпечення земельного кадастру в Україні подібний до світових тенденцій, при цьому має свої особливості. Застосування сучасних геоінформаційних технологій дало змогу перевести український кадастр на якісно новий рівень і систематизувати інформацію, наявну в паперовому вигляді, виявити низку

недоліків і розпочати процеси систематичного їхнього виявлення та усунення. Як і у світі, Державний земельний кадастр України розвивається, при цьому цей процес є динамічним і постійним.

Кадастрова система України має свої особливості доступу до відомостей кадастру і рівня відкритості для громадян порівняно із зарубіжними системами реєстрації, які є системами реєстрації прав власності нерухомого майна, складовою частиною якої є земельний кадастр. Вони відкриті для публічного доступу на платній або безоплатній основі. Процедури системи реєстрації та доступу до неї прозорі, юридично відпрацьовані й закріплені законодавчо. Особливості реєстраційних систем зумовлені результатом історичного розвитку відповідної країни. Україна, яка чи не останньою в Європі створила електронний кадастр, на сучасному етапі історичного розвитку наповнює бази даних національної кадастрової системи, що дасть змогу у перспективі після об'єднання з іншими реєстрами, пов'язаними з нерухомістю, створити прозору та відкриту реєстраційну систему.

Список літератури:

1. Панас Р., Маланчук М. Порівняльна оцінка земельних кадастрів зарубіжних країн і України. *Геодезія, картографія і аерографія*. 2008. № 70. С. 68–75.
2. Опенько І. Порівняльний аналіз оприлюднення земельно-кадастрових відомостей у зарубіжних країнах та в Україні. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2013. № 3. С. 80–87.
3. Таратула Р. Зарубіжний досвід розвитку земельно-кадастрових систем. *Агросвіт*. 2016. № 1. С. 17–21.
4. Пілічева М., Анопрієнко Т. Аналіз нововведень у роботі Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру. *Advances of science: proceedings of articles the international scientific conference (Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 6 December 2019)*. Karlovy Vary – Kyiv, 2019. С. 79–87.
5. Тревого І., Матішук А., Ільків Є., Галярник М. Публічні кадастрові карти. Світовий досвід. URL: http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/29981/1/15_53-55.pdf (дата звернення: 03.01.2020).
6. Сайт земельного кадастру Франції. URL: <http://www.cadastre.gouv.fr/scpc/accueil.do> (дата звернення: 03.01.2020).
7. Сайт Національного інституту географії Франції. URL: <http://www.ign.fr/> (дата звернення: 03.01.2020).
8. Сеница Ю. Аналіз мирових земельних кадастрових систем. *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2014. № 10 (157). С. 55–66.

9. Перович Л., Лудчак О. Кадастрова система України в контексті світового розвитку. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2015. № 1 (29). С. 15–19.
10. Теоретичні основи державного земельного кадастру: навч. посіб. / М. Ступень та ін.; за заг. ред. М.Г. Ступеня. Львів: Новий Світ2000, 2006. 336 с.
11. Кодекс Республіки Беларусь о земле : Кодекс от 23.07.2008 г. № 425-3. URL: <http://etalonline.by/document/?regnum=Нк0800425> (дата звернення: 05.01.2020).
12. Муниципальный реестр Грузии. URL: <http://mreg.reestri.gov.ge/> (дата звернення: 05.01.2020).
13. Кадастровая карта бумажной версии запроса по всей Грузии. URL: <http://napr.gov.ge/p/602> (дата звернення: 05.01.2020).
14. Про Державний земельний кадастр: Закон України від 07.07.2011 р. № 3613-VI. Дата оновлення: 17.10.2019. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua> (дата звернення: 05.01.2020).
15. Офіційний сайт Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру. URL: <http://land.gov.ua> (дата звернення: 05.01.2020).
16. Публічна кадастрова карта України. URL: <http://map.land.gov.ua/kadastrova-karta> (дата звернення: 05.01.2020).
17. Публічна кадастрова карта України. Опис. URL: <http://zemlevporyadnik.com.ua/ru/publichnaya-kadastrovaya-karta.html> (дата звернення: 05.01.2020).
18. Публічна кадастрова карта України. Використовуємо можливості. URL: <https://uteka.ua/publication/agro-4-zemlya-ta-zemelni-pravovidnosini-32-publichnaya-kadastrovaya-karta-ispolzuem-vozmozhnosti> (дата звернення: 05.01.2020).

Anopriienko T.V., Pilicheva M.O., Masliy L.O., Kulish Yu.R. CURRENT TRENDS OF THE INFORMATION SUPPLY OF THE LAND CADASTRE IN UKRAINE AND THE WORLD

The article is devoted to the current trends in the development of information support for the land cadastre and the features of disclosure of land cadastral data in foreign countries and in Ukraine, as it is the basis for making decisions on the disposal of land resources at different administrative and territorial levels.

The system of land cadastre of France, which is maintained on the electronic cadastral map of the country, where it is possible to obtain spatial information on land plots on-line, is considered. The cadastral system of Spain is analyzed. It consists of a register of rights and a cadastral map and is divided into urban and rural. The information is contained in the Land Registry of Spain reflects both the current state of the land and changes. The USA does not have a unified land cadastral system; each state has its own system. It is determined that the land cadastre of Canada allows you to get complete information about the land, as well as to perform a historical search of all its owners.

The state land cadastre of the Republic of Belarus consists of five components and is provided by various surveys and surveys, inventory and land cadastral evaluation. It is established that Georgia's public cadastral map was created on the basis of the Google Map service and represents the systematic unity of these municipalities' registers.

Information of the State Land Cadastre of Ukraine published on the official web site spatial data on land plots, cadastral numbers, purpose, distribution of land by ownership, land, between owners and users, types of rights and restrictions in their use, data on quantitative and qualitative land registration, their monetary valuation and soil bonuses. It is established that the development of information support for the land cadastre in Ukraine is similar to the world tendencies, while it has its own peculiarities – the identification of shortcomings and the process of their systematic elimination. As in the world, the State Land Cadastre of Ukraine is developing, with this process being dynamic and constant.

Key words: *land cadastre, public cadastral map, information support, land plot, registration system.*

Качановський О.І.

Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»

МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ВНАСЛІДОК ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ З ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ LANDSAT

В останні роки істотно зростають обсяги незаконного видобування бурштину на значних площах північно-західної частини Українського Полісся. Самовільне стихійне видобування бурштину завдає відчутної шкоди економіці та екології регіону, зокрема спричиняє порушення структури природних ландшафтів і погіршує агроекологічний стан ґрунтів, призводить до негативних змін у режимі поверхневих і підземних вод та псування рослинного покриву і знищення лісів.

Безумовно, негативні наслідки від стихійного видобування бурштину загрожують екологічним і соціально-економічним складникам безпеки північно-західних регіонів України, негативно впливають на розвиток сільського, лісового, гірничодобувного господарств [0].

Для оцінювання масштабів нелегального видобування бурштину, визначення площ порушених земель та обсягів рекультивациі необхідно передусім здійснити детальний моніторинг пошкоджених угідь.

Більшість територій незаконного видобування розміщена на важкодоступних заліснених і заболочених масивах, віддалених від населених пунктів і без наявності доріг. Перспективним способом для оперативного і точного картографування проблемних територій і визначення площ незаконних розробок є використання безпілотних картографічних дронів. Однак їхнє застосування обмежується складними природними умовами та високим ризиком втрати БПЛА.

У роботі ми пропонуємо вирішення цієї проблеми шляхом застосування матеріалів дистанційного зондування землі, а саме – мультиспектральних знімків супутникової системи Landsat-8. Використання цієї супутникової системи дає можливість достовірно та досить точно визначати локації незаконного видобування бурштину та реально оцінювати масштаби екологічної шкоди.

Ключові слова: порушені землі, видобуток бурштину, мультиспектральні супутникові знімки, дистанційне зондування.

Постановка проблеми. Моніторинг порушених унаслідок незаконного видобування бурштину земель за допомогою наземних методів знімання та збирання даних із використанням безпілотних літальних апаратів не завжди можливий і не здатен достатньою мірою забезпечити потрібний рівень оперативності у зв'язку зі швидкістю поширення та масштабами охоплення цих процесів.

Вирішити цю проблему можна з використанням мультиспектральних супутникових знімків середньої роздільної здатності Landsat-8. Проте алгоритм їх опрацювання в процесі виявлення порушених земель в умовах Українського Полісся залишається малодослідженим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазначимо, що проблема використання даних дистанційного зондування для виявлення місць незаконного видобування бурштину та визначення їхніх площ поки ще вивчена не досить. Основні напрацювання в цьому напрямі викла-

дено у роботах фахівців Національного університету водного господарства та природокористування та ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі» ІГН НАН України. Зокрема, цією проблематикою займаються такі вчені: Філіпович В.Є., Прокопчук А.В., Шевчук Р.М., Мозговий Д.К. та інші. У роботах, присвячених цій проблематиці, розглянуто питання застосування багатозонального космічного знімання різноманітних супутникових систем для визначення локацій порушених земель унаслідок видобування бурштину.

Постановка завдання. Метою статті є дешифрування матеріалів супутникових зйомок із метою визначення порушених земель унаслідок незаконного видобутку бурштину.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вихідними даними для проведення досліджень є мультиспектральні космічні знімки, отримані за допомогою супутникової системи Landsat-8, яка є частиною космічної програми «Landsat». Цей

супутник працює у видимому діапазоні хвиль і в ближньому інфрачервоному (роздільна здатність 15 метрів на піксель для панхроматичних даних і 30 метрів на піксель для мультиспектральних даних).

Завдяки досить хорошій геометричній точності (20 м без опорних точок) та відкритому доступу такі дані незамінні у процесі моніторингу екологічно небезпечних явищ.

Ділянкою досліджень обрано заліснену територію поблизу села Жовкині Володимирецького району Рівненської області.

На рис. 1 наведено фрагмент растрової підкладки публічної кадастрової карти України, де чітко видно, що в цей період (2009 р.) на досліджуваній території видобуток бурштину не відбувався.

Для досліджень завантажено знімки, отримані протягом 2013–2017 років. Дані завантажувались із відкритих джерел (сервера USGS <http://earthexplorer.usgs.gov>).

Для проведення досліджень насамперед потрібно підготувати вихідні дані: відібрати такі знімки, які мають мінімальну частку захмареності.

У зв'язку з досить великою сценою знімків і складністю опрацювання даних таких розмірів виконано вирізання досліджуваної ділянки.

Враховуючи надмірну зволоженість ґрунту на ділянках із видобуванням бурштину гідропомповим методом (рис. 3), було побудовано моделі вод-

них індексів: $NDWI$, $NWI_{green-swir}$, $NWI_{red-swir1}$, $NWI_{nir-swir1}$, $NWI_{blue-nir}$, $NWI_{blue-swir1}$, $NWI_{swir1-swir2}$, $NWI_{blue-swir2}$, $NWI_{green-swir2}$, $NWI_{red-swir2}$, $NWI_{nir-swir2}$.

Вплив механічного складу ґрунту проявляється в тому, що піщані ґрунти висихають швидко, втрачаючи воду через випаровування, вони не утримують стільки води, скільки суглинкові та глинисті. Значний вплив на вміст води в ґрунті виявляє характер поверхні ґрунту. Чим рівніша поверхня ґрунту, тим менше вона випаровує води, тоді як ґрунт після обробітку випаровує значно більше вологи [0].

Накопичення та зберігання води в ґрунті в багатьох випадках залежить від водно-фізичних властивостей, таких як: водозатримуюча здатність, водопроникність, водопідйомна та випарувальна здатність ґрунту.

Нагадаємо, що водопроникність – це здатність ґрунту поглинати воду, вона вимірюється величиною стовпчика рідини, яка проникає в ґрунт за одиницю часу. Суглинні ґрунти легкого механічного складу з відповідною структурою та складом мають високу водопроникність. Щодо ґрунтів важкого механічного складу, то вони характеризуються низькою водопроникністю, яку можна збільшити шляхом механічного обробітку.

Вологоємність – це кількість води, яку ґрунт може утримувати під час повного його насичення. Залежно від сили, що затримує вологу, розрізняють повну вологоємність, капілярну та



Рис. 1. Фрагмент растрової підкладки публічної кадастрової карти території досліджень (аерофотознімання 2009 р.)

молекулярну. Величина капілярної вологості залежить від об'єму капілярних пор, що, у свою чергу, визначається механічним складом і вмістом гумусу.

Як відомо, під вологістю ґрунту розуміють вміст в його порах і тріщинах певної кількості води. Уся вода, яка є в ґрунтовій породі в природних умовах, називається природною вологістю ґрунту (W). Здебільшого ґрунтову вологість виражають відношенням ваги води (q_b), яка вміщується в породі, до ваги сухої породи (q_c) (вагова вологість) у відсотках (1):

$$W = \frac{q_b}{q_c} \quad (1)$$

Вплив природної вологості на міцність ґрунтів змінюється залежно від типу ґрунтів. У піщаних ґрунтах вологість впливає на міцність і стійкість дрібнозернистих і глинистих їхніх різновидах. На оцінку властивостей середньо- і крупнозернистих пісків, а також уламкових порід вологість практично не впливає. У глинистих ґрунтах спостерігається різка зміна властивостей зі зміною вологості. Сухі глини поведуть себе як тверді тіла. Під час збільшення вологи вони поступово втрачають

міцність, переходять у стан розтікання, тобто повністю втрачають міцність.

Загалом, залежність механічного складу та вологості ґрунту можна описати так (за матеріалами С. Воробйова та Д. Бурової):

- для піщаних ґрунтів – вологість 15–18% від об'єму ґрунту (за запасу води в 1 м³ 1500–1800);
- для супіщаних – 22–24% (2200–1800);
- для суглинкових – 25–28% (2600–2400);

Під час дослідження впливу вологості приділяють увагу максимальній молекулярній вологості, яка визначається у максимальній кількості води, що здатна утримуватися на частинках гірських порід.

Для ефективного оцінювання вологості перш за все потрібно ідентифікувати, до якого виду належить цей ґрунт, тому що із зростанням часток фізичної глини вологість збільшується і зростає запас вологи води в ґрунті, визначити характер поверхні ґрунту, оскільки після обробки ґрунту випаровують більше вологи, врахувати відповідні погодні умови та стан території дослідження [0].

Для оцінювання вологості ґрунтів, на яких проводився видобуток бурштину за допомогою мотопомп, було проаналізовано матеріали дослі-



Рис. 2. Так званий «ямковий» ландшафт – результат видобування бурштину гідропомповим методом

дження за 2017 рік. Велика кількість досліджень свідчить про досить обґрунтовані передумови використання на різних етапах оцінювання вологості ґрунтів цих сучасних космічних зйомок у різних діапазонах електромагнітного спектра [0; 0]. А саме у видимому, інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах, що дає змогу виділити та оконтурити зони видобутку бурштину. Це є одним із елементів тематичної обробки космічних знімків, який дає змогу виявити ділянки порушених земель внаслідок видобутку бурштину.

Запропонований підхід на основі використання мультиспектральної космічної зйомки Landsat-8 доповнює традиційне дешифрування матеріалів дистанційного знімання.

На основі використання розрахункових методів можливим є визначення осередків перезволоження та надмірної вологоємності ґрунтового покриву на території з відкритим ґрунтовим покривом та «ямкуватою» структурою. Дешифрування матеріалів супутникових зйомок із метою оцінювання вологості базувалося переважно на апіорному аналізі з використанням деяких компонентів ландшафту, які виявляються на космічних знімках: рослинність, рельєф, гідромережа.

Особливості мультиспектральних космічних зйомок полягають у тому, що є можливість проводити класифікацію ґрунтової поверхні на основі даних спектрального відбиття в різних каналах знімання, що дає змогу за виділених відповідних класів оцінювати зволоженість земного покриття та виконувати узагальнену оцінку інтенсивності процесів забезпечення вологоємності. Також мультиспектральне знімання дає змогу обчислювати різні індексні значення та математичні показники, найбільш цікавими є водні індекси, які визначаються на основі спектрального відбиття у видимій та інфрачервоній ділянках електромагнітного випромінювання, що чутливі до зволоженості земної поверхні. Отже, як свідчать опрацьовані джерела [0; 0; 0], це може використовуватись для оцінювання загальної вологості ґрунту, для характеристики вологоємності, встановлення западин мікрорельєфу, перезволоженості та надмірної опушеності [0].

Представлено підхід для оцінювання зволоженості ґрунтового покриття, що базується на застосуванні різних нормово-різницевих водних індексів. У дослідженні розглянуто та застосовано вже наявні різні водні індекси, чутливі до зволоженості ґрунтової поверхні [0]. Зокрема – індекс *NDWI* (Normalized Difference Water Index), запропонований В. Gao [0]:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

Проаналізовано та застосовано нормовано-різницевий водний індекс, який базується на використанні зеленого (Green) та середнього інфрачервоного (SWIR) каналів, рекомендований для оцінювання вмісту вологи у верхньому шарі відкритого ґрунту [0]:

$$NWI_{green-swir} = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1} \quad (3)$$

Для оцінювання вологості ґрунтів на основі водних індексів було розраховано та побудовано видозміни індексів із застосуванням Swir 1 (1560–1650 мкм) та інших спектральних каналів, таких як: Red (0,630–0,680 мкм), (3.10); Nir (0,845–0,885 мкм), (3.11); Blue (0,450–0,510 мкм) [0]:

$$NWI_{red-swir1} = \frac{Red - SWIR1}{Red + SWIR1} \quad (4)$$

$$NWI_{nir-swir1} = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1} \quad (5)$$

$$NWI_{blue-nir} = \frac{Blue - NIR}{Blue + NIR} \quad (6)$$

$$NWI_{blue-swir1} = \frac{Blue - SWIR1}{Blue + SWIR1} \quad (7)$$

$$NWI_{swir1-swir2} = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad (8)$$

$$NWI_{blue-swir2} = \frac{Blue - SWIR2}{Blue + SWIR2} \quad (9)$$

$$NWI_{green-swir2} = \frac{Green - SWIR2}{Green + SWIR2} \quad (10)$$

$$NWI_{red-swir2} = \frac{Red - SWIR2}{Red + SWIR2} \quad (11)$$

$$NWI_{nir-swir2} = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (12)$$

Отже, на отриманому за розрахунком *NWI_{green-swir}* зображенні більш зволожені місця здавалися темнішими плямами, отже, темні плями на зображенні в межах полів відповідали ямам, заповненим водою, що визначено як перезволожені. Для більш яскравішої інтерпретації побудовано зображення методом неконтрольованої класифікації, але тут навпаки – більш зволожені місця здавалися світлішими плямами (рис. 5).



Рис. 3. Фрагмент космічного знімка супутника Landsat-8 OLI (05.2017), загальний вигляд порушених земель внаслідок видобутку бурштину в лісовому масиві поблизу с. Жовкинi (синтезоване зображення RGB 2:3:4)

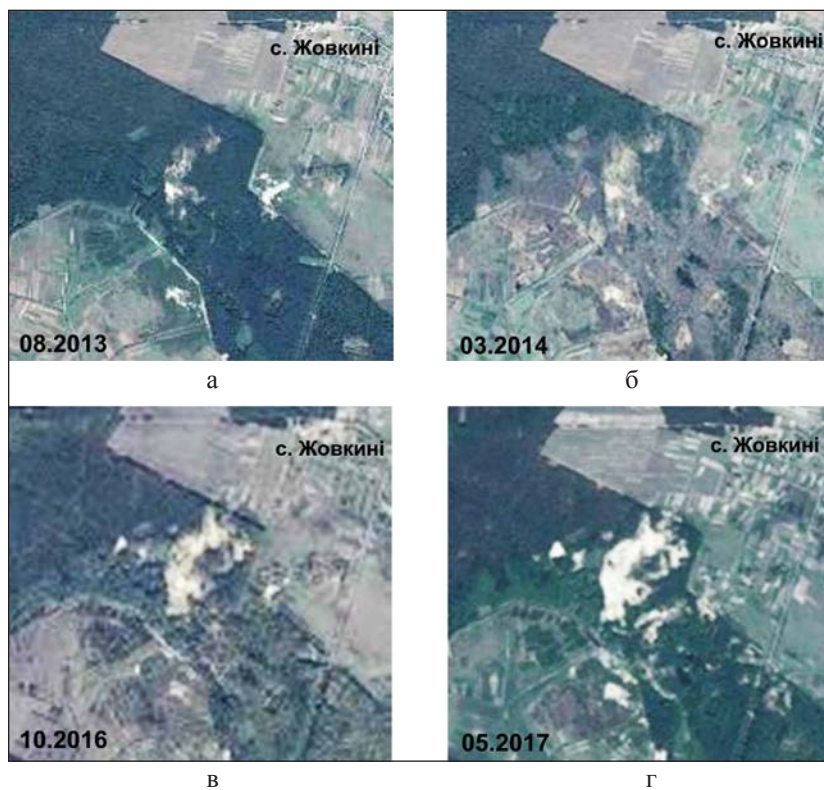


Рис. 4. Динаміка зміни площ порушених земель внаслідок видобутку бурштину за період 2013–2017 рр. за матеріалами знімачь супутникової системи Landsat-8

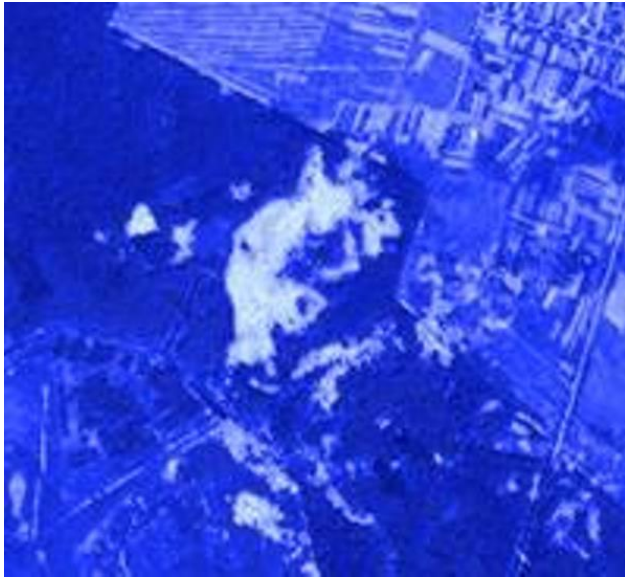


Рис. 5. Зображення, побудоване методом неконтрольованої класифікації (найсвітліші ділянки знімка – землі, порушені внаслідок видобутку бурштину)

На основі використання супутникових знімків і розрахункових методів було визначено осередки видобутку бурштину гідропомповим методом, оскільки ця територія характеризувалася відкритим перезволоженим ґрунтом та «ямкуватою» структурою.

Висновки. У статті запропоновано методику визначення порушених земель унаслідок видобутку бурштину з використанням мультиспек-

тральних супутникових знімків Landsat-8 в умовах північної частини Рівненської області.

На основі використання супутникових знімків і розрахункових методів було визначено осередки видобутку бурштину гідропомповим методом, оскільки ця територія характеризувалася відкритим перезволоженим ґрунтом та «ямкуватою» структурою. Також дешифрування матеріалів супутникових зйомок із метою оцінювання вологості базувалося на апріорному аналізі з використанням таких компонентів ландшафту, які виявляються на космічних знімках: рослинність, рельєф, гідромережа.

У роботі було побудовано геопросторові моделі водних індексів: $NDWI$, $NWI_{green-swir}$, $NWI_{red-swir1}$, $NWI_{nir-swir1}$, $NWI_{blue-nir}$, $NWI_{blue-swir1}$, $NWI_{swir1-swir2}$, $NWI_{blue-swir2}$, $NWI_{green-swir2}$, $NWI_{red-swir2}$, $NWI_{nir-swir2}$.

Запропонований підхід на основі використання мультиспектральної космічної зйомки Landsat-8 доповнює традиційне дешифрування матеріалів дистанційного знімання з метою виявлення порушених земель унаслідок видобування бурштину та дає можливість оцінити масштаби завданої екологічної шкоди.

Наведену в роботі методику ідентифікації порушених земель можна покращити з використанням результатів тематичного опрацювання супутникових знімків інших супутникових систем і геоінформаційних сервісів.

Список літератури:

1. Бардиш Б., Бурштинська Х. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. II (28). С. 82–88.
2. Булакевич С. Концептуальні засади використання даних дистанційного зондування для створення ГІС управління територіями в умовах Рівненської області. *Вісник НУВГП*. 2007. С. 85–95.
3. Булакевич С. Технологія визначення ризику водно-ерозійного руйнування земної поверхні в землевпорядному проектуванні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2007. Вип. I (13). С. 295–299.
4. Гебрин-Байди Л. Застосування аерокосмічних методів для оцінювання родючості земель сільськогосподарського призначення ландшафтних зон Закарпаття : автореф. ... дис. к.т.н. Л., 2018. 24 с.
5. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Філіпович, Г. Крилова, М. Лубський // *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях* : зб. наук. пр. 14-ї Міжнар. наук.-практ. конфер., 5–9 жовтня 2015 р, м. Київ, Пуща-Водиця. С. 181–198.
6. Філіпович В. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі, за матеріалами багатозональної космічної зйомки. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 4. С. 91–97.
7. Філіпович В. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 4–7.
8. Отражательная способность почв разной степени смытости / С. Дробыш, Т. Бубнова, Т. Азаренок // *Почвоведение и агрохимия*. 2010. № 1 (44). С. 49–57.
9. Муратова Н., Терехова А. Опыт оценки весенних запасов почвенной влаги на основе спутников ой информации и наземных обследований. *Сб. науч. стат. Всероссийской конф. «Современные проблемы*

дистанционного зондирования Земли из космоса» / под ред. О. Лавровой, Е. Лупяна. Москва : Полиграф сервис, 2004. С. 191–196.

10. Розанов Б. Генетическая морфология почв. Москва : Изд-ва МГУ. 1975. 289 с.

11. Сахацький О. Методологія використання матеріалів в багатоспектральній космічній зйомці для вирішення гідрогеологічних задач : автореф. дис. ... докт. геол. наук : 05.07.12 – «Дистанційні аерокосмічні дослідження». Київ, 2009. 40 с.

12. Gao B.C. NDWI – A Normalized Difference Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation and Water from Space. *Remote Sensing of Environment*. NYC, 1996. 58. P. 257–266.

13. Ji L., Zhang L., Wylie B. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2009. № 75 (11). P. 1307–1317.

Kachanovskyi O.I. IDENTIFICATION METHOD OF BROKEN LANDS BECAUSE OF AMBER PRODUCTION BY USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES LANDSAT

The scope of illegal amber mining in the North-West part of the Ukrainian Polissya has grown dramatically in recent years. Unauthorized amber mining has a severe environmental and economic impact for the region. In particular, it destroys the structure of natural landscapes, degrades the soil and affects its agricultural use, affects the flow regime of surface water and ground water, causes deforestation and fading of vegetation.

Illegal amber mining obviously has adverse effects on the environmental, social and economic security of the North-Western regions of Ukraine, and negatively impacts the growth of the agricultural, forestry and mining sectors [7].

It is necessary, first of all, to carry out detailed monitoring of damaged lands to assess the scope of illegal amber mining, identify the land disturbance areas and determine how much land needs to be reclaimed.

The vast majority of illegal mining areas are located within remote forest lands and wetlands, far away from populated areas and without road access. A promising method for quick and accurate mapping of problem areas, as well as identification of illegal mining areas, is to use fully autonomous mapping drones. However, their use is limited to difficult environmental conditions and a high risk of unmanned aerial vehicle loss.

In this paper, we suggest to solve the problem by using data obtained during the Earth remote sensing, such as multispectral digital images from the Landsat-8 satellite. This satellite system allows to accurately detect actual locations of illegal amber mining and to assess the extent of the environmental impact.

Key words: *disturbed lands, amber mining, multispectral satellite images, remote sensing.*

Відомості про авторів

Азарян В.А. – доктор технічних наук, доцент кафедри відкритих гірничих робіт Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет»;

Анопрієнко Т.В. – кандидат економічних наук, старший викладач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Баранюк О.В. – кандидат технічних наук, старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Бахмач В.О. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету харчових технологій;

Бернацький А.В. – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Биковець Н.П. – кандидат технічних наук, завідувач кафедри загальнонаукових дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

Бойко С.М. – кандидат технічних наук, здобувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті Криворізького національного університету;

Булгакова А.С. – аспірантка кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Валевська Л.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;

Василенко О.О. – кандидат технічних наук, доцент Сумського національного аграрного університету;

Василишин В.Я. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Василишин Я.В. – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри архітектури та містобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Вовкодав Н.І. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету харчових технологій;

Вовкодав О.В. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету харчових технологій;

Габ А.І. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри сучасної інженерії та нанотехнологій Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

Геліх А.О. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології молока і м'яса Сумського національного аграрного університету;

Герашенко М. – студентка Сумського національного аграрного університету;

Глушко О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Головко М.П. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри товарознавства в митній справі Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Головко Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства в митній справі Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Давидов В.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Доник Т.В. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України, старший викладач кафедри фізики енергетичних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дорошенко Я.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоховищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Залюбовський М.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автотранспорту Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

Кірсанова В.В. – кандидат біологічних наук, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»;

Кармашов О.О. – студент 2 курсу Навчально-наукового інституту харчових технологій Національного університету харчових технологій;

Качановський О.І. – заступник директора Відокремленого структурного підрозділу «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;

Кобилянська О.О. – магістрант кафедри теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Козьмініх М.А. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету «Одеська морська академія»;

Косенко В.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автотранспорту Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

Крисенко Т.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Куліш Ю.Р. – студент будівельного факультету Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Курило В.А. – завідувач групи відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Кухар В.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обробки металів тиском Приазовського державного технічного університету;

Лещенко С.А. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Майборода О.І. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

Малаксиано М.О. – кандидат фізико-математичних наук, завідувач кафедри технічної кібернетики та інформаційних технологій імені Р.В. Меркста Одеського національного морського університету;

Малишев В.В. – доктор технічних наук, професор, директор Інженерно-технологічного інституту Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

Маслій Л.О. – старший викладач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Мельник О.М. – аспірант кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету;

Набок Т.М. – молодший науковий співробітник відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Нагнібеда М.М. – аспірант кафедри обробки металів тиском Приазовського державного технічного університету;

Ольшамовський В.С. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету «Одеська морська академія»;

Пантєлєєва І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії;

Петік Т.В. – студентка кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Пилипенко О.І. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Пілічева М.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Пойманов А.Д. – студент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Поліщук М.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Попова І.В. – кандидат технічних наук, доктор філософських наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

Применко В.Г. – кандидат технічних наук, завідувач кафедри менеджменту та адміністрування Відокремленого підрозділу «Дніпровський факультет менеджменту і бізнесу Київського університету культури»;

Радовенчик Я.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Радусhev О.О. – інженер кафедри обробки металів тиском Приазовського державного технічного університету;

Савісько О. – студентка Сумського національного аграрного університету;

Сидорець В.М. – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу «Фізика газового розряду і техніки плазми» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Сімурова Н.В. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

Сіора О.В. – науковий співробітник відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Сіренко Л.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Сірий О.А. – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Сморочинський О.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент Херсонського державного аграрного університету;

Соколовська О.Г. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;

Стріха Л.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент Миколаївського національного аграрного університету;

Ступак О.С. – аспірант 4-го року навчання Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України, науковий співробітник відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України;

Сучек О.М. – провідний інженер відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Сьомкіна О.В. – науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Ткачев Р.О. – завідувач лабораторії кафедри обробки металів тиском Приазовського державного технічного університету;

Токайчук Т.М. – науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Халатов А.А. – академік, завідувач відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України, завідувач кафедри фізики енергетичних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Частоколяний Б.О. – магістр Миколаївського національного аграрного університету;

Чорна Ю.В. – студент інституту економіки та менеджменту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Чубарова Д.С. – аспірант Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Шахнін Д.Б. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри сучасної інженерії та нанотехнологій Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

Шелягін В.Д. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Штефан В.В. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Шулянська А.О. – завідувач лабораторії ПрАТ «Укрелеваторпром».

НОТАТКИ

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 31 (70) № 1 2020

Частина 2

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Івана Кудрі, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 14,91. Ум.-друк. арк. 19,07. Зам. № 0220/64

Підписано до друку 06.03.2020. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а

Телефон +38 (0552) 399 580,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.