

**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 30 (69) № 3 2019

Частина 2

**Київ
2019**

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;

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

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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 автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Кузьменко Борис Володимирович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами 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;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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 № 10 від 20.06.2019 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, 2019

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА

Комарчук D.S.

CALCULATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF HEATING SURFACE FOR THERMAL PROCESSING OF DISPERSIVE NON-MAGNETIC MATERIALS WHEN USING INDUCTION HEATER.1

Петік Т.В., Лисюк Г.П.

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ ЕНЕРГОБЛОКУ 1000МВт АТОМНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.....7

Прилуцький Є.В.

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАЦІЙ ПІД ЧАС ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ НА АВТОНОМНІ МЕРЕЖІ.....14

Савченко Н.П., Трет'як А.В.

СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ГІБРИДНИМИ НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ СПОЖИВАЧІВ.....20

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Денисюк І.І., Лемешко В.А., Поляковська Т.С.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ФЛЮЇДУ В ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПЛАСТА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ.....25

Кусень О.Б., Назимко В.В.

НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ КУТІВ СКРУЧУВАННЯ УЗДОВЖ ПЕРИМЕТРУ РАМНОГО КРІПЛЕННЯ.....31

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Луценко Л.С., Радзівська І.Г., Бабенко В.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ КОСМЕТИЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОФІЛЬНОГО ЕМУЛЬГАТОРА.....37

Твердохліб М.М., Гомеля М.Д.

СОРБЦІЙНО-КАТАЛІТИЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПОЛУК МАРГАНЦЮ.....42

Фролова Л.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ФЕРИТУ КУПРУМУ ПЛАЗМОВИМ МЕТОДОМ.....47

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бажай-Жежерун С.А., Береза-Кінзерська Л.В., Солодко Л.М., Тогачинська О.В.

ВИКОРИСТАННЯ ФІТОЕКСТРАКТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ЗЕРНА53

Болгова Н.В., Губа С.О., Казанцев Ю.В., Єресь І.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ВИРОБІВ ІЗ СИРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО ЗНЕЖИРЕНОГО.....58

Гапонцева О.В., Селютіна Г.А., Черевична Н.І., Хацкевич Ю.М., Віннікова В.О.

ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ КВАШЕНОЇ РЕДЬКИ.....63

Гейнак О.І., Кирпиченкова О.М., Сильчук Т.А., Дочинець І.В.

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ СТРАВ ОЗДОРОВЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА.....68

Дзюба Н.А., Землякова О.В.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ГІДРОЛІЗАТУ КОЛАГЕНУ З ГІДРОБІОНТІВ.....74

Кузнецова І.О., Крусір Г.В., Гаркович О.Л., Коваленко І.В. ВАЖКІ МЕТАЛИ У ДИТЯЧОМУ ХАРЧУВАННІ.....	80
Makarynska A.V., Turpurova T.M. EFFICIENCY OF THE USE OF VEGETABLE PEA CONCENTRATE IN MIXED FODDER'S OF YOUNG PIGS.....	86
Писарев М.Г., Левківська Т.М., Бандуренко Г.М. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ СОРТІВ КАРТОПЛІ У ВИРОБНИЦТВІ СУШЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ.....	92
Самілик М.М., Расамакіна Ю.В. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БУРЯКОВИХ ЦУКАТІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЙОГУРТІВ.....	97
Страшинський І.М., Пасічний В.М., Гречко В.В. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ПОДРІБНЕННЯ НАСІННЯ ЧІА НА ЗДАТНІСТЬ ДО ГЕЛЕУТВОРЕННЯ.....	102
Токар А.Ю., Гайдай І.В., Матенчук Л.Ю., Харченко З.М. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БРОДІННЯ СУСЕЛ З ЯБЛУК СОРТУ АЙДАРЕД У ВИГОТОВЛЕННІ НЕКРІПЛЕНИХСОЛОДКИХ ВИН.....	107
Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є., Бондар С.М. ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ЗБЕРІГАННЯ СУХОГО БЕЗЛАКТОЗНОГО БІЛКОВО-ЛІПІДНОГО КОНЦЕНТРАТУ МАСЛЯНКИ.....	113
Федорова Д.В. ОВОЧЕВО-ЗЕРНОВІ ФЛАКСИ ІЗ СУХИМ РИБОРОСЛИННИМ НАПІВФАБРИКАТОМ.....	119
Худенко Н.П., Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Бондар С.М., Шарахматова Т.Є. КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ РЕЦЕПТУРНИХ СКЛАДНИКІВ НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО МОРОЗИВА.....	127
ТРАНСПОРТ	
Богом'я В.І., Дакі О.А., Тимошук О.М. АНАЛІЗ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ.....	137
Данилян А.Г., Тирон-Вороб'єва Н.Б., Романовская О.Р., Маслов И.З. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД.....	143
Кириченко Г.І., Стрелко О.Г., Бердниченко Ю.А., Петриковець О.В., Павлюк Є.І. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ.....	148
Кожушко А.П. ЕНЕРГЕТИЧНІСТЬ СИСТЕМИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З ПЕРЕМІННОЮ МАСОЮ ЗА СТАЛОГО РУХУ.....	154
Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Кисельов В.Б., Гуйда О.Г. АЛГОРИТМ КВАЗІПІВАРІАНТНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В РЕЖИМІ СЕРЕДНЬОШВИДКІСНОГО ПІДЙОМУ.....	160
Редчиц В.В., Головина Е.В., Редчиц С.В. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ АВТОКОЛЕБАНИЙ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС АВТОМОБИЛЯ.....	165
Сторож Я.Б., Чумакова Н.В. ОЦІНКА ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ ЖИТТЯ ТА ЗДОРОВ'Я ПРАЦІВНИКІВ МЕТРОПОЛІТЕНІВ.....	171

Фомін О.В., Прокопенко П.М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М.
КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА З МЕТОЮ ОЦІНКИ
АЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ.....177

Харченко В.Ф., Козлова О.С.
ДО ПИТАННЯ РЕАЛЬНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДВИЩЕННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ.....183

БУДІВНИЦТВО

Білик С.І., Юрченко В.В.
ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІРІВ ВІДГІНІВ, ЩО ПІДКРІПЛЮЮТЬ ПОЛИЦІ, ДЛЯ СТЕРЖНЕВИХ
ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ХОЛОДНОГНУТИХ ПРОФІЛІВ.....191

Блащук Н.В., Маєвська І.В., Тихолаз О.О.
ВПЛИВ ГЛИБИНИ ПІДВАЛУ НА КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ
ПІД ЗОВНІШНІ СТІНИ.....199

Степаненко Н.А., Агафонова И.П., Дмитриева Н.В.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ АРМИРОВАНИЯ СКЛОНОВ
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ.....207

ГЕОДЕЗІЯ

Поморцева О.Є.
ТРИВИМІРНИЙ КАДАСТР НЕРУХОМОСТІ: ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ.....212

ЕЛЕКТРОНІКА

Королевич Л.Н., Борисов А.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ЗОН
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ВОЛЬТ-ФАРАДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ МДП-СТРУКТУР.....217

Осадчук О.В., Осадчук В.С., Осадчук Я.О.
ВПЛИВ ГАЗОРЕАКТИВНОГО ЕФЕКТУ
ПЕРВИННИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕНСОРІВ ГАЗУ
НА ВИХІДНУ ЧАСТОТУ АВТОГЕНЕРАТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....223

CONTENTS

POWER ENGINEERING

Komarchuk D.S.

CALCULATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF HEATING SURFACE FOR THERMAL
PROCESSING OF DISPERSIVE NON-MAGNETIC MATERIALS WHEN USING INDUCTION HEATER.....1

Petik T.V., Lysyuk H.P.

AUTOMATIC SYSTEM OF REGULATION OF WATER LEVEL
IN THE STEAM GENERATOR OF THE 1000 MW NUCLEAR POWER PLANT.....7

Prilutsky Ye.V.

THE ASSAYING OF OPERATION MODES OF MICRO HYDRO POWER PLANTS
IN PARALLEL OPERATION ON AN OFFLINE NETWORK14

Savchenko N.A., Tretjak A.V.

AUTONOMOUS UNINTERRUPTED ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM
WITH HYBRID ENERGY STORAGES FOR LOW-CURRENT CONSUMERS20

RESOURCE DEVELOPMENT

Denisyuk I.I., Lemeshko V.A., Polyakovska T.S.

COMPUTER MODELING OF FLUID FILTRATION IN SLAB'S POROUS MEDIUM
FOR CREATING WAVE TECHNOLOGIES OF INTENSIFICATION
HYDROCARBON EXTRACTION25

Kusen O.B., Nazimko V.V.

ACTUAL MEASUREMENTS OF PROFILE TORSION ANGLES
ALONG PERIMETER OF A FRAME SUPPORT31

CHEMICAL TECHNOLOGY

Lutsenko L.S., Radziyevska I.H., Babenko V.I.

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF COSMETIC EMULSIONS
USING A HYDROPHILIC EMULSIFIER37

Tverdokhlib M.M., Gomelya N.D.

SORPTION-CATALYTIC OF WATER PURIFICATION FROM MANGANESE COMPOUNDS.....42

Frolova L.A.

INVESTIGATION OF THE PROCESS PRODUCTION
OF COPPER FERRITE BY PLASMA METHOD.....47

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Bazhay-Zhezherun S.A., Bereza-Kindzerska L.V., Solodko L.M., Togachynska O.V.

USE OF PHYTOEXTRACTES
FOR INCREASE OF NUTRITIONAL VALUE OF GRAIN53

Bolhova N.V., Huba S.O., Kazantsev Yu.V., Yeres I.O.

THE RESEARCH OF THE PROCESSES OCCURING
IN PRODUCTS MADE FROM COTTAGE LOW FAT CHEESE WHILE BEING STORED58

Haponceva O.V., Seliutina H.A., Cherevychna N.I., Khatskevich Yu.M., Vinnikova V.O.

FORMATION OF THE QUALITY OF THE CASTED RIVER63

Heinak O.I., Kirpichenkova O.M., Sylchuk T.A., Dochynets I.V.

EXPANSION OF THE ASSORTMENT OF DISHES
FOR HEALTHY FOOD IN THE FOOD SERVICE68

Dzyuba N.A., Zemlyakova E.V. OVERVIEW MODERN METHODS OF OBTAINING COLLAGEN HYDROLYZATE FROM HYDROBIONTS	74
Kuznetsova I.O., Krusir G.V., Garkovich O.L., Kovalenko I.V. HEAVY METALS IN BABY FOOD	80
Makarynska A.V., Turpurova T.M. EFFICIENCY OF THE USE OF VEGETABLE PEA CONCENTRATE IN MIXED FODDER'S OF YOUNG PIGS	86
Pysarev M.G., Levkivska T.M., Bandurenko H.M. PERSPECTIVES OF THE USE OF MODERN SORTED POTATO IN PRODUCTION OF DRIED SEMI-FINISHED PRODUCTS	92
Samilyk M.M., Rasamakina Yu.V. PROSPECTS FOR THE USE OF BEET CANDIED IN THE PRODUCTION OF YOGURTS	97
Strashynskiy I.M., Pasichniy V.M., Grechko V.V. THE STUDYING OF THE INFLUENCE OF CHIA SEEDS GRINDING DEGREE TO THE GELATINAZATION ABILITY	102
Tokar A.Yu., Haidai I.V., Matenchuk L.Yu., Kharchenko Z.M. THE OPTIMIZATION OF THE FERMENTATION PROCESS OF A WORT FROM APPLES AIDARED IN THE PRODUCTION OF THE UNFORTIFIED SWEET WINES	107
Trubnikova A.A., Chabanova O.B., Sharakhmatova T.Ye., Bondar S.M. SUBSTANTIATION OF STORAGE MODES OF DRY FREE-LACTOSE PROTEIN-LIPID BUTTERMILK CONCENTRATE	113
Fedorova D.V. VEGETABLE AND CEREAL FLAKES WTH DRY FISH AND PLANT SEMIFINISHED PRODUCT	119
Khudenko N.P., Trubnikova A.A., Chabanova O.B., Bondar S.M., Sharakhmatova T.Ye. CORRELATION AND REGRESSIONAL ANALYSIS OF RECEPTORAL COMPLEXES OF LOW-LACTOSE ICE CREAM	127
TRANSPORT	
Bohomia V.I., Daki O.A., Tymoshchuk O.M. ANALYSIS OF MEASUREMENT SIGNALS FOR CONTROL OF THE TECHNICAL STATE OF THE RADIONAVIGATION COMPLEXES OF MANAGEMENT OF MOVING VEHICLES OF WATER TRANSPORT	137
Danilyan A.H., Tiron-Vorobiova N.B., Romanovska O.P., Maslov I.Z. IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF DECOMPOSITION AND CLEANING OF BALLAST WATER	143
Kyrychenko H.I., Strelko O.H., Berdnychenko Yu.A., Petrykovets O.V., Pavliuk Ye.I. MODERN TRENDS FOR THE DEVELOPMENT OF A MULTIOMODAL CARGO TRANSPORT SYSTEM	148
Kozhushko A.P. ENERGETIC SYSTEM OF MACHINE AND TRACTOR UNITS WITH VARIABLE WEIGHT AT A CONSTANT MOVEMENT	154
Lysenko O.I., Tachinina O.M., Kiselov V.B., Guida O.G. ALGORITHM OF QUASI-INVARIANT CONTROL OF ELECTRIC DRIVE OF VERTICAL VEHICLE IN THE MODE OF MEDIUM-SPEED RISE	160

Redchits V.V., Holovina E.V., Redchits S.V.
VEHICLE WHEELS OF CONTROL SELF VIBRATION MODEL IMPROVEMENT165

Storozh Ya.B., Chumakova N.V.
EVALUATION AND MANAGEMENT
OF RISKS TO THE METRO WORKER'S LIVES AND HEALTH171

Fomin O.V., Prokopenko P.M., Burlutsky O.V., Fomina A.M.
CONTROL TESTING OF FREIGHT WAGON WITH THE AIM
OF ASSESSING THE RESIDUAL RESOURCE OF NON-CONSTRUCTION STRUCTURES.....177

Kharchenko V.F., Kozlova O.S.
ABOUT REAL POTENTIAL OF INCREASING
THE ENERGY EFFICIENCY OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT.....183

CONSTRUCTION

Bilyk S.I., Yurchenko V.V.
SIZE OPTIMIZATION OF SINGLE EDGE FOLD
FOR COLD-FORMED STRUCTURAL MEMBERS191

Blashchuk N.V., Maievska I.V., Ticholaz O.O.
THE INFLUENCE OF BASEMENT DEPTH ON A CONSTRUCTIVE SOLUTION
OF STRIP FOUNDATION UNDER EXTERNAL WALLS199

Stepanenko N.A., Agafonova I.P., Dmitrieva N.V.
IMPACT ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF REINFORCING
SLOPES WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS ON THEIR DURABILITY207

GEODESY

Pomortseva O.E.
3D CADASTRE REAL ESTATE: PROBLEMS OF DATA USE212

ELECTRONICS

Korolevych L.M., Borisov A.V.
DETERMINATION OF FLAT BAND VOLTAGE BY EXPERIMENTAL CAPACITANCE-VOLTAGE
CHARACTERISTICS OF METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR STRUCTURES.....217

Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A.
INFLUENCE OF THE GAS-REACTIVE EFFECT OF PRIMARY SEMICONDUCTOR
GAS SENSORS ON THE OUTPUT FREQUENCY OF AUTOGENERATOR TRANSDUCERS223

UDC 665.33.001.73

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/01>**Komarchuk D.S.**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

CALCULATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF HEATING SURFACE FOR THERMAL PROCESSING OF DISPERSIVE NON-MAGNETIC MATERIALS WHEN USING INDUCTION HEATER

An analysis of the constructions of the equipment's used for the temperature processing of the disperse material was done, the proposed working hypothesis substantiates the design and technological scheme of the equipment for the temperature processing of non-magnetic disperse materials, with is based on the use of induction heating of the heat exchange surface for heat transfer to the dispersed material. According to the results of theoretical research, a mathematical model of the process of heating the non-magnetic disperse material in the equipment with the use of induction heating is developed. The developed mathematical model based of heating of mustard grain with describes the process and allows us to determine the theoretical values of temperature of the material and ferromagnetic rods at different technological modes of operation of the equipment for temperature processing.

Key words: induction heating, inductor, extruder, heat process, mustard, oil.

Problem statement. Existing technologies of heating dispersion materials don't allow efficiently to perform heating operations without degrading the technological characteristics of the heat equipment or for the material itself, especially organic. The unevenness of the temperature field and the short service life of heaters from the nichrome wire motivate the search for alternative heat treatment methods that can be used in the industry.

Induction heating – is an effective means of ensuring the temperature regimes of technological equipment. Ecology friendly, low time to the set temperature conditions, possibilities of intensification of heat exchange between the disperse material and the heat exchange surface prompts the implementation of the introduction heating into the industry.

Despite the number of existing sufficient researches, the potential of improving the induction heaters of disperse materials has not yet been exhausted. Therefore, the development of the design of an induction heater for organic disperse material is actual.

Analysis of recent research and publications. Now, for the production of oil from oil-bearing organic material, for the maintenance of the thermal modes of the technological process, a nichrome heater [5, 8], whose zone of operation is divided into several working zones, is used. Since the high temperature of the oil material will reduce the molecular bonds of oil

and grain, and the construction of the screw press has several zones of mechanical impact, it is obvious that the oil material should be input into machining areas with a temperature that higher the outside temperature and the heating should be carried out directly before submitting the material to the press.

Such methods of increasing the output present of oil have led to the appearance of presses in front of which the neck is installed a heated frying pan and blades with the ability to rotate to mix the disperse material [6, 7, 8]. The temperature of the frying pan is maintained by a heater, the oil material is gradually heated and, with the help of blades, reaches the neck of the press. Such a design cannot provide high thermal efficiency due to significant heat losses to the environment and small thermal contact of the disperse material with the surface of the heating. In addition, in the use of such a heat transfer technology, there are all the disadvantages of a traditional heater.

Purposes of the article. Develop a method for calculating the structural parameters of the heating surface for disperse organic materials such as mustard which using the induction heater as a main heating source.

Main material and research results. The analysis of the designs of plants used for the temperature processing of disperse materials allowed us to conclude that the most promising for further researches are equipment in which combines efficient

methods of supplying thermal and electric energy, and the process intensification through additional mixing of the material is used. It helps to minimize the occurrence of stagnant zones, improves heat exchange during the temperature processing of grain and improves the efficiency of the plant. In addition, such equipment has high efficiency and performance. The analysis has found that equipment of this type hasn't been studied sufficiently, which indicates the absence of a specific theory of design. Therefore, we were tasked with the development of a plant for temperature processing of permanent oil material using inductive heating, which would provide the minimum material content of the structure, high efficiency and the necessary productivity for use in the line of existing equipment for the processing of oilseeds.

Proceeding from the conducted analysis and research tasks, a new design of the plant for the temperature processing of the oil material (Fig. 1) is proposed, which is processed on the press-extruders.

The equipment consists of drive motor 1, shaft 2, support 3, protective cylinder 4, ferromagnetic rods 5, storage hopper 6, cylindrical non-magnetic housing 7, inductor 8, thermocouples 9, thermal insulation material 10 and outlet 11.

The equipment works in this way. The inductor turns on 8, which forms an electromagnetic flux in rods 9, which leads to their heating. The material arriving at the processing from the storage bin 6 moves to the out holes 12 of the body 7, is heated by contact with the rods 9 to the required temperature controlled by the thermocouples 10.

The degree of oilseed treatment is regulated by changing the material moving speed when the width of the output holes 12 and change of the speed of rotation of the rods 9 is actuated by the drive motor 1.

The developed design solution of heat treatment of oilseeds will allow heat treatment of dispersed material with a minimum material capacity, a high value of the efficiency coefficient, which is achieved by the application of additional mixing of grain material with moving ferromagnetic rods.

To calculate the design characteristics of the temperature treatment of the oil material necessary to determine the geometric parameters of the heat exchange surface. This surface represents a bundle of ferromagnetic rods which don't have electrical contacts between themselves along the length of the inductor. The placement of rods in the volume of the grain channel is carried out taking into account the condition for the unilateral leakage of dispersed

material (mustard grains). For disperse materials, the smallest diameter of the aperture for self-propelled leakage is defined as [6]:

$$A \geq (3 \div 6) a', \tag{1}$$

where: a' – maximum size of particles of bulk material, mm.

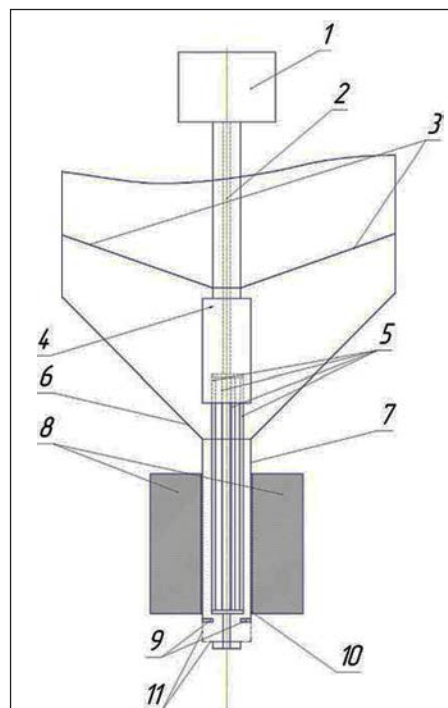


Fig. 1. Plant for heat treatment oilseed

The diameter of the grain channel D of the plant must correspond to the diameter of the inlet neck of the press. The number of rods of the channel is determined by the principle of constructing a uniform series, so the number of diametric rows in the channel is determined by:

$$n = \frac{\frac{D}{2} - \bar{A}}{A + d_{sm}}, \tag{2}$$

where: d_{sm} – diameter of the rods, mm; \bar{A} – average permissible distance between the rods, mm.

The number of rods in each diametric row is determined as follows:

$$m_i = \frac{\pi d_i}{A_{max} + d_{sm}}, \tag{3}$$

where: d_i – diameter i -th number of rods, mm.

The maximum size of mustard grain is 2.14 mm [24], so the distance between the rods must be within: $6.42 < A < 12.84$.

The diameter of the channel is appropriate to choose from the reasons connection the new equipment to the existing equipment. Herewith taken

into account that the condition of a long inductor will be fulfilled [2]. That is, the length of the inductor will be greater than three diameters of the inductor

$$L_{ind} > 3D_{ind}. \quad (4)$$

In carrying out the above recommendations, we obtain the geometrical characteristics and location of ferromagnetic rods in the volume of the plant for the heat treatment of mustard grains Fig. 2.

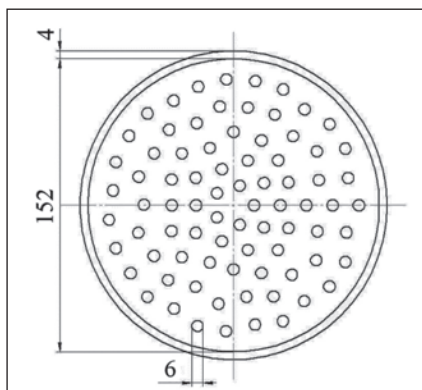


Fig. 2. Location of ferromagnetic rods for the heat treatment of dispersion materials

The next important step in the development of a new plant for temperature processing of mustard grain will be to determine the geometric and energy characteristics of the inductor for the received physical size of the grain feeder canal.

After choosing the design parameters of the equipment, it is necessary to perform theoretical studies of the parameters of the inductor, as the main element of the energy transfer to the ferromagnetic rods with induction heating.

For efficient heating of disperse materials, which include mustard seeds, an extensive heat transfer surface is important. By placing the rods at a distance from each other, which ensures the free movement of the dispersed material, it is possible to provide the necessary heating parameters (Fig. 3).

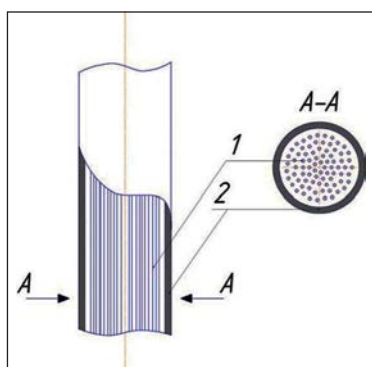


Fig. 3. The cylindrical inductor with loading in the form of a multi-tier system: 1 – ferromagnetic rods; 2 – cylindrical inductor.

Using the calculation method [17] of inductor parameters, we obtained the following geometric parameters for an induction heater: the length of the inductor $a = 0.6 \text{ m}$, the internal diameter of the inductor $d_{ind} = 0.165 \text{ m}$, the number of turns of the winding $w = 180$. The power supply of the induction device is carried out from an alternating current source 220 V , with a frequency of 50 Hz .

As a conductor, we use a wire $3.5 \times 6 \text{ PSD}$ with an effective 20 mm^2 cross-section. The winding of the inductor is executed in a step of 10 mm and the conductor length is 99 m . In this way, the overall dimensions of the inductor are: the internal diameter is 165 mm , the outer diameter is 186 mm , the length of the winding of the inductor is 0.6 m . Capacity is 4500 W , efficiency – 91% .

To estimate the energy characteristics of the inductor on the temperature of the grain at the outlet of the equipment, it is necessary to develop a mathematical model for heat exchange of mustard grain with mobile ferromagnetic rods heated by the induction method.

Quantitative description of the dynamics of the thermal component of the process of processing the disperse material (mustard seeds) in the apparatus of the flowing type with electromagnetic heating elements can be made on the basis of such a mechanism of heat exchange: the heat released in the heating element (rod in the electromagnetic field) is transmitted through a complex heat transfer (convection through the intrinsic air, heat transfer at direct contact of seeds and rods, radiation due to multiple absorption and reflection of the radiation energy serial arranged parts) dispersed material in non-stationary conditions taking into account its longitudinal mixing of the surface of the heaters. The heat received by the material is spent on increasing its temperature and evaporation of moisture (residual), when the material is stirred, a part of the heat is transferred to the walls of the case, spent on its heating and partially transmitted through the winding of the inductor to the environment, while the winding of the inductor raises its temperature. The transfer of moisture released from the material's surface into the intergranular air space of the material layer takes place through the diffusion mass transfer and then through the flowing gaps between the particles to the external medium.

The heat balance in dynamics for an infinitely small element of a heater filled with disperse material moving along the heaters (with simultaneous mixing) for each of the following dynamic elements: rod, grain material; the air part (the intergranular space),

the body of the unit, the winding of the inductor, write (for an elementary volume of height dx in the direction of movement of the material) [3, 4, 5, 7]:

$$t_3(x) = \frac{A}{B} - \left(\frac{A}{B} - t_{31} \right) e^{-\frac{B}{T_x}x}. \quad (5)$$

The equation (5) determines the temperature distribution of the grain in the direction of its movement along the heating rods in a steady-state.

Determining the derivative of $t(x)$ we obtain the value of the temperature gradient of the grain layer:

$$\frac{dt_3}{dx} = \frac{B}{T_x} \left(\frac{A}{B} - t_{31} \right) e^{-\frac{B}{T_x}x}. \quad (6)$$

Let's substitute meaning $\frac{dt_3}{dx}$ in equation (3), we obtain the equations with ordinary derivatives:

$$\begin{cases} T_1 \frac{d\Theta_c}{d\tau} - c_3 + \frac{a_1}{b_1} \Theta_c = t_3 \\ T_2 \frac{dt_3}{d\tau} + \frac{b_2}{a_2} t_3 + c_4 = \Theta_c \end{cases}, \quad (7)$$

where: $c_3 = P\eta + \frac{c_1}{b_1}$;

$$c_4 = B \left(\frac{A}{B} - t_{31} \right) e^{-\frac{B}{T_x}x} - \frac{c_2}{a_2}.$$

Differentiate the equation (40) by time:

$$\frac{d\Theta_c}{d\tau} = T_2 \frac{d^2t_3}{d\tau^2} + \frac{b_2}{a_2} \frac{dt_3}{d\tau}. \quad (9)$$

Let's substitute the value Θ_c and $\frac{d\Theta_c}{d\tau}$ into equation (9), after transformations we will have an equation of change in temperature of grain in time:

$$\begin{aligned} T_1 T_2 \frac{d^2t_3}{d\tau^2} + \left(T_1 \frac{b_2}{a_2} + \frac{a_1}{b_1} T_2 \right) \frac{dt_3}{d\tau} + \left(\frac{a_1}{b_1} \frac{b_2}{a_2} - 1 \right) t_3 = \\ = c_3 + \frac{c_2}{a_2} \frac{a_1}{b_1} - \frac{a_1}{b_1} f(x). \end{aligned} \quad (10)$$

Let's rewrite the equation (10) in the form:

$$A \frac{d^2t_3}{d\tau^2} + B \frac{dt_3}{d\tau} + C t_3 = D_1(x), \quad (11)$$

where: $A = T_1 T_2$;

$$B = T_1 \frac{b_2}{a_2} + \frac{a_1}{b_1} T_2;$$

$$C = \frac{a_1}{b_1} \frac{b_2}{a_2} - 1;$$

$$D_1(x) = \frac{c_2}{a_2} \frac{a_1}{b_1} - \frac{a_1}{b_1} f(x).$$

The solution of the nonhomogeneous differential equation of the second order will be obtained as the sum of solutions of the homogeneous equation and partial:

$$t(\tau, x) = c_1 e^{r_1 \tau} + c_2 e^{r_2 \tau} + \frac{D_1(x)}{C}, \quad (12)$$

where: c_1, c_2 – steady integration;
 r_1, r_2 – roots of the characteristic equation:

Steady integration will be determined from the initial conditions: $\tau=0; t_3=t_{30}; dt_3/d\tau = 0$. Substituting the values of the initial conditions in the equation (12) and its derivative we will have:

$$\begin{cases} t_{30} = c_1 + c_2 + \frac{D_1(x)}{C} \\ 0 = c_1 r_1 + c_2 r_2 \end{cases}. \quad (13)$$

Where we have:

$$c_1 = -r_2 \frac{t_{30} C - D_1(x)}{C(r_1 - r_2)}; \quad c_2 = r_1 \frac{t_{30} C - D_1(x)}{C(r_1 - r_2)}.$$

In this way, the equation that determines the temperature change of the moving layer of grain in time and coordinate will have the final appearance:

$$t_3(\tau, x) = r_1 \frac{t_{30} C - D_1(x)}{C(r_1 - r_2)} [r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}] + \frac{D_1(x)}{C}. \quad (14)$$

Similarly, we obtain an equation that determines temperature change of the rods $\Theta_c(\tau)$:

$$\Theta_c(\tau) = r_1 \frac{\Theta_{30} C - D_2}{C(r_1 - r_2)} [r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}] + \frac{D_2}{C}. \quad (15)$$

where: $D_2 = \frac{c_2}{a_2} + \frac{b_2}{a_2} c_3$;

Θ_{30} – initial temperature of the rods.

We substitute the thermoelectric characteristics of mustard grains from literary sources [1] into the obtained mathematical model. For the preliminary calculation, we assume that the material moves only under the guise of gravitational forces, and the ferromagnetic rods do not move (Fig. 4).

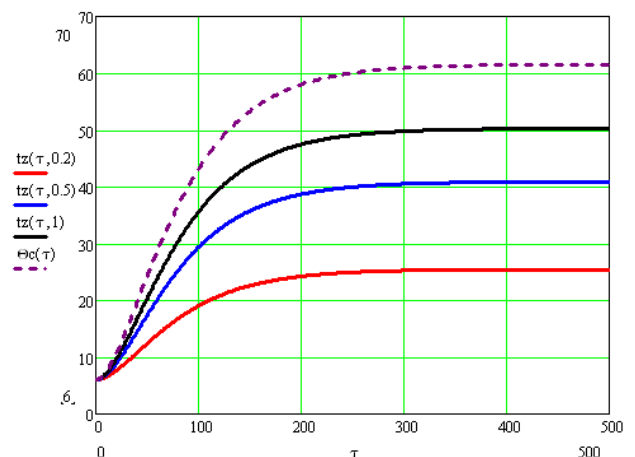


Fig. 4. The temperature distribution of the material tz and the temperature of the heater Θ_c the direction of movement from the feed neck at a distance: 0.2, 0.5, 1 meter ($tz, ^\circ\text{C}; \Theta_c, ^\circ\text{C}; \tau, \text{s}$)

In this way, the length of the heat exchange surface in which the mustard seeds reach the required temperature of 50°C is one meter.

Conclusion. Based on the review and analysis of the constructions of the equipment used for the temperature processing of the disperse material, the working hypothesis has been put forward, which has allowed to develop, and also substantiate the structural and technological scheme of a new surface for the temperature processing of disperse materials of an organic origin, which is based on the use of induction heating of the heat exchange surface for heat supply

to the forced moving dispersed material, its calculated model was constructed and the engineering method of calculation was developed in process parameters.

According to the results of theoretical researchers, we developed the mathematical model of the process of heating the disperse material in the equipment. The developed mathematical model on an example of heating of mustard grain describes the process and allows to determine the theoretical values of temperature of seeds and ferromagnetic rods at different technological operating modes of the device for temperature processing.

REFERENCES:

1. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1980, 288 с.
2. Котов Б.І., Лисенко В.П., Комарчук Д.С., Калініченко Р.А. Ідентифікація динаміки електричних установок термообробки фуражного зена при виробництві. Науковий вісник. Мелітополь, 2012, Т. 4. № 2. С. 3–8.
3. Лисенко В.П., Котов Б.І., Комарчук Д.С. Математичне моделювання теплових процесів прес-екструдера з індукційним обігрівом. Науковий вісник. Київ : НУБіП, 2011. Ч. 4. № 166. С. 113–119.
4. Лисенко В.П., Калініченко Р.А., Комарчук Д.С. Ідентифікація процесу нагріву зерна ріпака. Науковий вісник. Київ : НУБіП, 2012. № 174, Ч. 1. С. 98–100.
5. Лисенко В.П., Комарчук Д.С. Інтенсифікація температурної обробки олійного насіння. Науковий вісник. Київ : НУБіП, 2012. № 161. С. 171–174.
6. Лисенко В.П., Котов Б.І., Комарчук Д.С., Калініченко Р.А. Математичне моделювання нестационарних теплових процесів прес-екструдера з індукційним обігрівом як об'єкта з розподіленими параметрами. Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Мелітополь, 2012. Том. 2, № 12. С. 165–169.
7. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов : Учеб. пособие для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. Москва : «Энергия», 1976. 544 с.
8. Єременко О.І., Гудзенко М. М., Лук'янець В.О. До питання техніко-технологічного оснащення переробки насіння ріпака в Україні. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ : НУБіП України, 2010. Вип. 144, Ч. 3. С. 173–182.

РОЗРАХУНОК ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАГРІВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДИСПЕРСНИХ НЕМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАЧА

Виконано аналіз конструкцій обладнання, яке використовується для температурної обробки дисперсних матеріалів, висунута робоча гіпотеза обґрунтовує конструктивно-технологічну схему установки для температурної обробки немагнітних дисперсних матеріалів, яка заснована на використанні індукційного нагріву теплообмінної поверхні для підведення тепла до дисперсного матеріалу, з якою він контактує. За результатами теоретичних досліджень, розроблено математичну модель процесу нагріву дисперсного немагнітного матеріалу в установці з використанням індукційного нагріву. Розроблена математична модель на прикладі нагріву зерна гірчиці, яка описує процес і дозволяє визначити теоретичні значення температури матеріалу та феромагнітних стержнів за різних технологічних режимів роботи установки для температурної обробки.

Ключові слова: індукційний нагрів, індуктор, екструдер, тепловий процес, гірчиця, масло.

РАСЧЕТ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ДИСПЕРСНЫХ НЕМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Выполнен анализ конструкций оборудования, используемого для температурной обработки дисперсных материалов, выдвинутая рабочая гипотеза обосновывает конструктивно-технологическую схему установки для температурной обработки немагнитных дисперсных материалов, которая основана на использовании индукционного нагрева теплообменной поверхности для подвода тепла к дисперсному материалу, с которой он контактирует. По результатам теоретических

исследований разработана математическая модель процесса нагрева дисперсного немагнитного материала в установке с использованием индукционного нагрева. Разработана математическая модель на примере нагрева зерна горчицы, которая описывает процесс и позволяет определить теоретические значения температуры материала и ферромагнитных стержней при различных технологических режимах работы установки для температурной обработки.

Ключевые слова: *индукционный нагрев, индуктор, экструдер, тепловой процесс, горчица, масло.*

УДК 621.73

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/02>**Петік Т.В.**

Одеський національний політехнічний університет

Лисюк Г.П.

Одеський національний політехнічний університет

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В ПАРОГЕНЕРАТОРІ ЕНЕРГОБЛОКУ 1000МВт АТОМНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Стаття присвячена розробленню автоматичної системи регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку з ВВЕР-1000. Метою є модернізація автоматичної системи регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку з ВВЕР-1000. Це дозволить експлуатувати парогенератор та енергоблок в цілому більш ефективно. Для стабілізації рівня води в парогенераторі запропонована трьохімпульсна АСР рівня з ПІ-регулятором. Використання трьохімпульсної АСР забезпечує підвищення якості регулювання, а отже поліпшення техніко-економічних показників.

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

Постановка проблеми. Досвід експлуатації сучасних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) енергоблоків атомних електричних станцій, що були розроблені багато років тому, показав їх достатньо високу надійність, однак задачі з підвищення якості їх функціонування досі залишаються. Вони можуть бути вирішені, зокрема, за рахунок використання в АСУ ТП промислових комп'ютерних систем управління і удосконалення алгоритмів управління з використанням сучасних методів і принципів управління та регулювання.

Ефективне управління парогенераторами АЕС з ВВЕР в нормальних і аварійних режимах в значній мірі забезпечує динамічну стійкість системи регулювання всього енергоблоку. Найважливіший параметр, від якого залежить виконання цих функцій – рівень води в барабанному парогенераторі, який має підтримуватись на певному нормованому значенні. Підвищення рівня в барабанному парогенераторі атомної електричної станції призводить до збільшення вологості пари, зброду води в турбіну, гідроударам та пошкодженню лопаточного апарату турбіни. Зниження рівня води в парогенераторі призводить до погіршення теплообміну і збільшенню температури води першого контуру, а також до зменшення аварійного запасу води для охолодження реактора. [1, с. 103]

Постановка завдання. Для досягнення більш ефективного регулювання рівня води необхідна модернізація автоматичної системи регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку з ВВЕР-

1000. Така автоматична система регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку з ВВЕР-1000 дозволить експлуатувати парогенератор та енергоблок в цілому більш ефективно [2, с. 2962].

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

Найбільша теплова ефективність АЕС досягається варіюванням основних визначаючих параметрів теплової схеми: температури регенеративного підігріву живильної води і схеми регенерації, тиску і температури, числа ступенів проміжного перегріву пара, типу привода допоміжних механізмів і способів включення їх в систему, характеристик конденсаційної установки та ін. [3, с. 135]. Технологічні схеми і обладнання другого контуру, що є складовою ланкою теплової схеми АЕС (рис. 1), відображають основний технологічний процес – процес вироблення електроенергії. [4, с. 467].

Перший контур АЕС – радіоактивний, другий – нерadioактивний. Парогенератор є спільним устаткуванням для першого і другого контурів. У ньому теплова енергія, вироблена в реакторі,

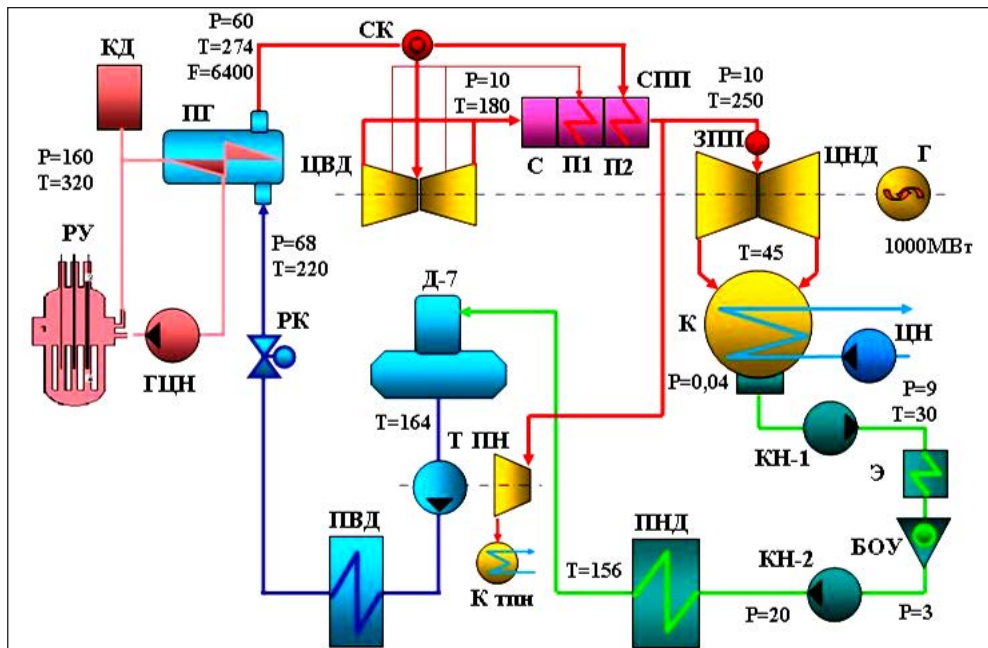


Рис. 1. Технологічна схема енергоблоків з ВВЕР-1000

від першого контуру через теплообмінні трубки передається другому контуру. Насичена пара, що виробляється в парогенераторі, по паропроводу надходить на турбіну, яка приводить в обертання генератор, що виробляє електричний струм.

Передача теплоти в парогенераторі через поверхню трубопроводу вимагає перепаду температур між теплоносієм і робочим тілом. Прагнення не допустити кипіння в реакторі вимагає створення тиску в першому контурі істотно вище тиску в другому контурі. З цієї причини параметри робочого тіла на двоконтурній АЕС з ВВЕР завжди нижче параметрів теплоносія [5, с. 177].

Парогенератор являє собою однокорпусний двоконтурний теплообмінний апарат горизонтального розташування з погрузним трубним пучком. Парогенератор служить для вироблення сухого насиченого пару з води другого контуру.

Парогенератор ПГВ-1000М забезпечує наступні основні вимоги:

- ПГ забезпечує охолодження теплоносія I контуру до необхідного рівня температур у всіх проектних режимах;
- схема і компоновання ГЦК (головного циркуляційного контуру) в сукупності з ПГ забезпечує охолодження теплоносія при його циркуляції;
- забезпечується резервування подачі живильної води в парогенератор по окремій лінії;
- габаритні розміри забезпечують транспортування по залізницях;

– конструкція ПГ виключає ушкодження ним іншого обладнання і трубопроводів при максимальній проектній аварії.

Теплотехнічні параметри парогенератора в номінальному режимі представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Теплотехнічні параметри парогенератора в номінальному режимі

Характеристика	Од. вим.	Значення
Теплова потужність	МВт	750±
Паропроductивність	кг/с (т/год)	408,3 (1470±)
Робочий тиск у міжтрубному просторі по другому контуру	МПа (кгс/см)	6,3(64)
Поверхня теплообміну	м	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	°	278.52
Температура теплоносія на вході, розрахункова	°	320
Температура теплоносія на виході, розрахункова	°	289.7
Об'єм корпусу	м	160
Маса корпусу	кг	204720

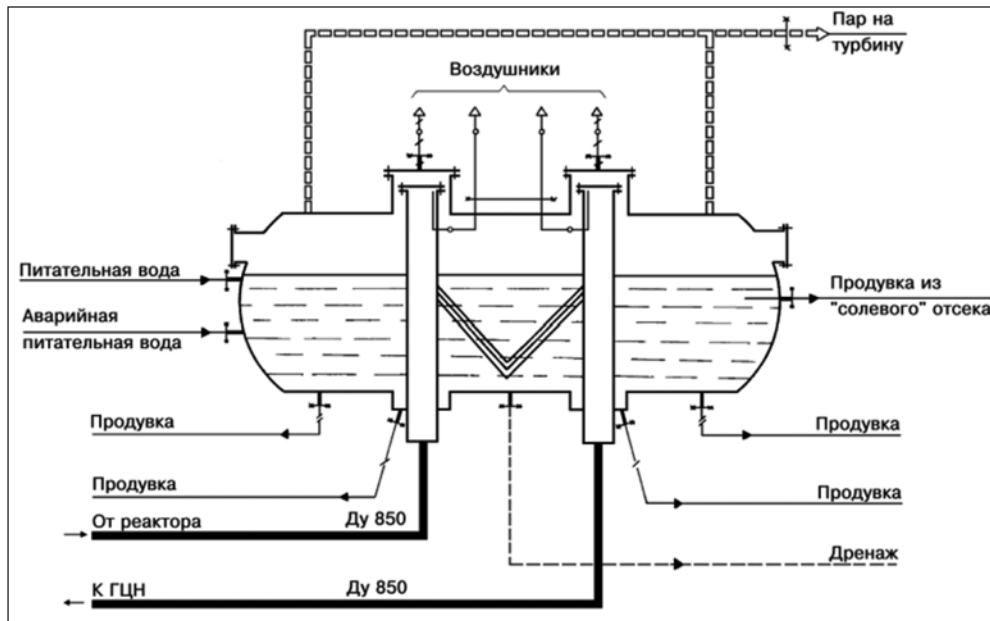


Рис. 2. Спрощена схема включення ПГ до ГЦК

Спрощена схема включення ПГ до ГЦК приведена на рисунку 2.

Регулювання живлення парогенератора зводиться до підтримки матеріального балансу між відводом пари, продувкою та подачею живильної води. Параметром, що характеризує матеріальний баланс, є рівень води в парогенераторі [6, с. 10].

До стабілізації рівня висуваються жорсткі вимоги. Для ПГВ з ВВЕР-1000 номінальний рівень складає 2450мм 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 турбину), а зниження рівня – через оголення поверхонь нагріву. [7, с. 133]

Збурюючими впливами на рівень є:

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

Регулюючим впливом є зміна положення живильного клапану, що встановлений на трубопроводі живильної води.

При зміні витрати пари, наприклад збільшенні, тиск в ПГ зменшується, відбувається додаткове закипання води, збільшення кількості і обсягу бульбашок пари і, як наслідок, підвищення рівня.

Параметрична схема математичної моделі парогенератора наведена на рисунку 3.

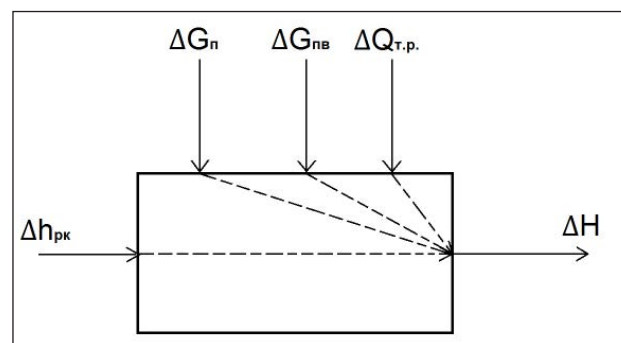


Рис. 3. Параметрична схема математичної моделі парогенератора

Передатні функції парогенератора за каналами витрати живильної води та пари:

$$\begin{cases} W(s)_1 = \frac{0.0038}{10s + 1} \\ W(s)_2 = \frac{0.000037}{s} \\ W(s)_3 = \frac{-0.0006}{13s + 1} \end{cases}$$

Для підтримання рівня використовується трьохімпульсна АСР.

Принцип роботи такої трьохімпульсної АСР (рис. 4) наступний. Сигнали по витраті пари $G_{пп}$ і живильної води $G_{пв}$ вводяться в регулятор з протилежними знаками. У сталому стані ці сигнали рівні, протилежні за знаком і, отже, компенсують один одного. Сигнал по рівню води в ПГ компенсується сигналом завдання. При зміні витрати пари миттєво змінюється відповідний сигнал на вході в

регулятор і останній пропорційно змінює витрату живильної води, не чекаючи зміни рівня [8, с. 22].

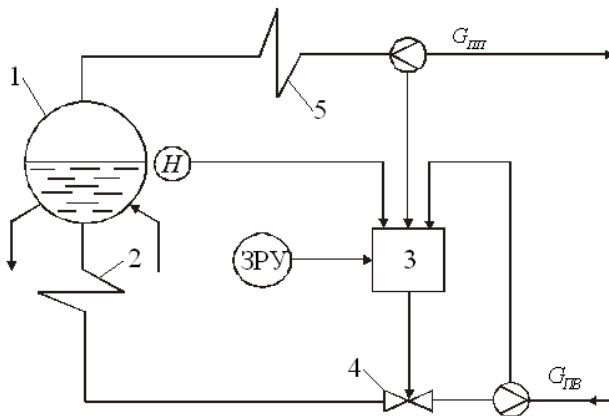


Рис. 4. Трьохімпульсна АСР живлення водою барабанного парогенератора:

- 1 – барабан;
- 2 – водяний економайзер;
- 3 – регулятор живлення;
- 4 – регулюючий клапан;
- 5 – пароперегрівач.

У регуляторі використовується ПІ-закон регулювання, проте внаслідок введення в регулятор практично безінерційного негативного зворотного зв'язку по витраті живильної води в ньому реалізується ПІ-закон регулювання (аналогія жорсткого зворотного зв'язку за положенням регулюючого органу) [9, с. 37]. Статична нерівномірність ПІ-регулятора усувається коригуючим сигналом по витраті пари.

Така АСР живлення, що поєднує принципи регулювання по відхиленню і збуренню, набула найбільшого поширення на потужних барабанних котлах [10, с. 7].

Модель трьохімпульсної АСР в Simulink приведена на рисунку 5.

За методикою Кона перевіряємо правильність налаштування аналізуючі криві розгону на рисунках 6 та 7.

В результаті перевірки впевнились, що коефіцієнти для регулятора підібрані вірно.

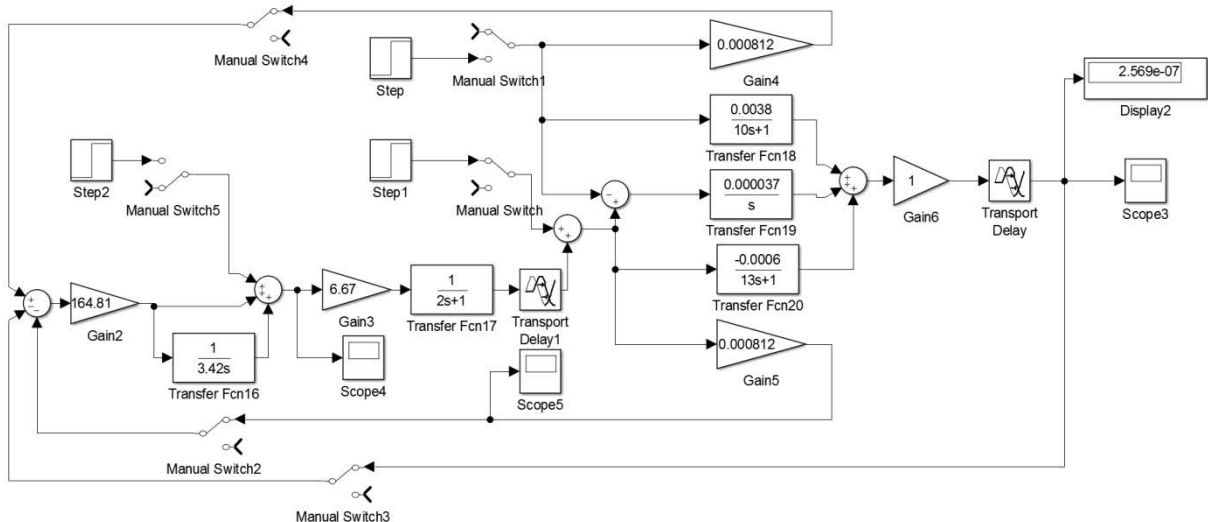


Рис. 5. Модель трьохімпульсної АСР в Simulink

Тож можна отримати перехідні процеси за рівнем води при подачі збурень по витраті живильної води (рис. 8) та по витраті пари (рис. 9).

Висновки. Запропонована модель парогенератора, що дозволяє дослідити перехідні процеси в об'єкті управління при збуреннях за різними каналами. Розглянута АСР рівня може бути використана не лише для контролю рівня води в

парогенераторі, а також для роботи з промисловими котлами. За результатами проведення симуляції, видно, що АСР з ПІ-регулятором забезпечує кращу якість регулювання в порівнянні з типовими АСР рівня. Таким чином використання трьохімпульсної АСР забезпечує підвищення якості регулювання, а отже поліпшення техніко-економічних показників.

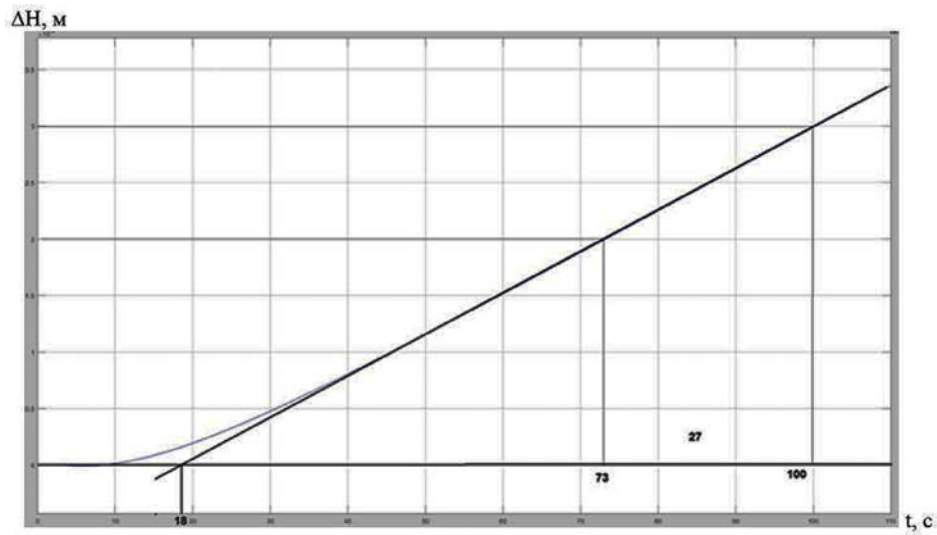


Рис. 6. Крива розгону за каналом рівня води в парогенераторі

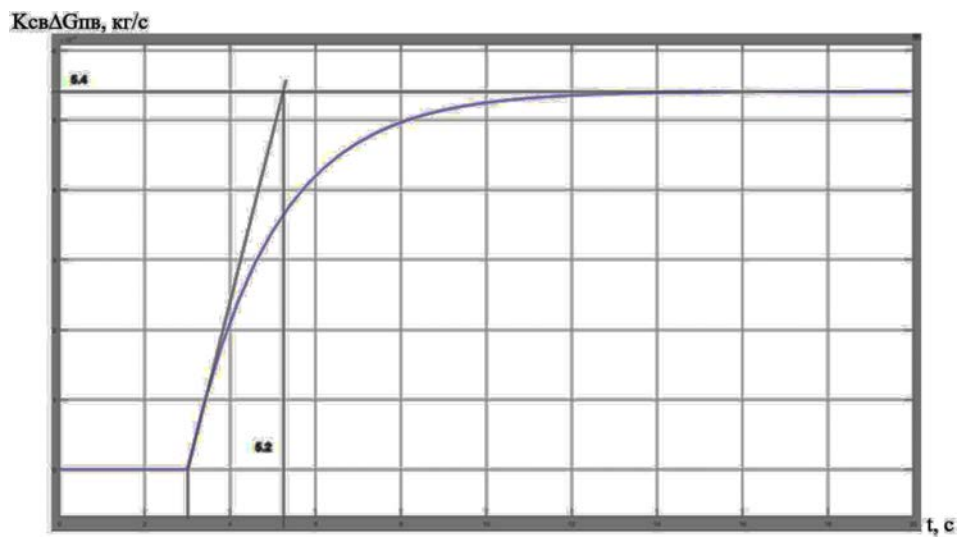


Рис. 7. Крива розгону за каналом витрати живильної води

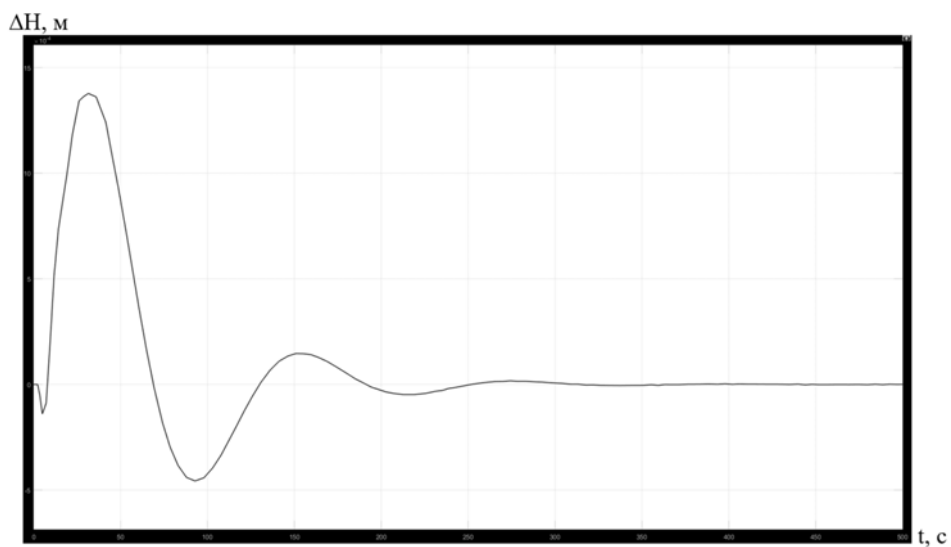


Рис. 8. Перехідні процеси за рівнем води при подачі збурення по витраті живильної води

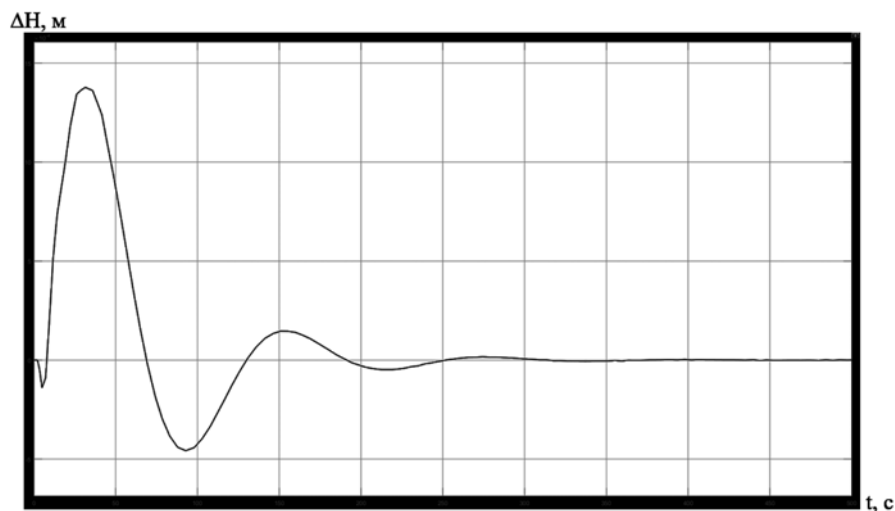


Рис. 9. Перехідні процеси за рівнем води при подачі збурення по витраті пари

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 Politechnichnyi Universytet: Pratsi, 2012. № 1(38). P. 99–106.
2. Pelykh S.N., Maksimov M.V. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WWER-1000 nuclear unit: Nuclear Engineering and Design, 2011. №241(8). P. 2956–2963.
3. Babich S.V., Davydov V.O. Objective function for municipal heat supply systems structural optimization: Праці Одеського політехнічного університету, 2015. № 1(45). P. 134–140.
4. Давыдов В.О., Крылов В.Н., Максимов М.В. Автоматизированная система распознавания: Искусств. Интеллект, 2002. № 4. С. 462–469.
5. Ложечников В.Ф., Михайленко В.С. Методи побудови адаптивних систем управління: Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы, 2009. № 2. С. 174–179.
6. Тодорцев Ю.К., Бундюк А.М., Ларіонова О.С. Математична модель контуру тепlopостачання когенераційної енергетичної установки: Автоматика, автоматизація, електротехнічні комплекси та системи, 2009. № 2. С. 8–11.
7. Брунеткин А.И., Максимов М.В., Бондаренко А.В. Идентификация количественного состава неизвестного газообразного горючего и его продуктов сгорания на основе измеренных технологических параметров процесса сжигания топлива / Вісник Національного технічного університету ХПІ. Сер.: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2014. № 12. С. 131–141.
8. Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А., Беглов К.В. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС: Автоматизація технологічних і бізнес-процесів, 2015. Вып. 7, № 4. С. 18–24.
9. Бундюк А.Н., Улицкая Е.О. Разработка алгоритма для расчёта статики когенерационной энергетической установки: Холодильная техника и технология, 2013. №3. С. 34–40.
10. Belova N.A., Lisiuk G.P. Genetic algorithms application to decide the issue of single-dimensional cutting optimization: Automation of technological and business processes, 2016. №2. Т.8. P. 4–8.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ ЭНЕРГОБЛОКА 1000МВт АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Статья посвящена разработке автоматической системы регулирования уровня воды в парогенераторе энергоблока с ВВЭР-1000. Целью является модернизация автоматической системы регулирования уровня воды в парогенераторе энергоблока с ВВЭР-1000. Это позволит эксплуатировать парогенератор и энергоблок в целом более эффективно. Для стабилизации уровня воды в парогенераторе предложена трёхимпульсная АСР уровня с ПИ-регулятором. Использование трёхимпульсной АСР обеспечивает повышение качества регулирования, а следовательно, и улучшение технико-экономических показателей.

Ключевые слова: парогенератор, автоматическая система регулирования, атомная электростанция, регулирование уровня, ВВЭР-1000.

**AUTOMATIC SYSTEM OF REGULATION OF WATER LEVEL
IN THE STEAM GENERATOR OF THE 1000 MW NUCLEAR POWER PLANT**

The article focused on the development of an automatic regulation system of the water level in the steam generator of a power unit with a WWER-1000. The aim is to upgrade the automatic water level regulation system in the steam generator of the WWER-1000 power unit. That will allow the operation of the steam generator and power unit as a whole more efficiently. For the stabilization of the water level in the steam generator proposed the three-pulse automatic regulation system of the water level with the PI regulator. The use of the three-pulse automatic regulation system ensures improved quality of regulation, and hence improved technical and economic performance.

Key words: *steam generator; automatic regulation system, atomic power station, level regulation, WWER-1000.*

Прилуцький Є.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАЦІЙ ПІД ЧАС ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ НА АВТОНОМНІ МЕРЕЖІ

У статті проведений аналіз проблем роботи мікрогідроелектростанцій (мікроГЕС) під час роботи на автономні електричні мережі, проведене дослідження енергетичних характеристик роботи мікроГЕС під час роботи на автономні електричні мережі. Розподіл навантаження між генераторами електростанцій залежить від значень коефіцієнтів саморегулювання приводних гідротурбін і діапазону зміни еквівалентного навантаження станції. Похибка стабілізації напруги паралельно працюючих асинхронних генераторів визначається відхиленням еквівалентного навантаження від номінальних значень і в загальному випадку відповідає аналогічним значенням для автономних станцій.

Ключові слова: енергозбереження, гідроенергетика, енергетичні характеристики, автономні енергетичні установки, енергоефективність, нетрадиційна енергетика, енергетика України.

Постановка проблеми. Принципово процес перетворення механічної енергії потоку води в електричний струм може здійснюватися за допомогою досить широкого набору пристроїв, у тому числі і не призначених спеціально для застосування в мікроГЕС. Проблема полягає в оптимізації цього перетворення з метою отримання якнайкращих споживчих і експлуатаційних властивостей енергоустановок.

У гідроелектростанціях класу «мікро» спостерігається тенденція до деякого ускладнення електричної частини установок, яка здебільшого здійснює одночасно і функції стабілізації виробленої електроенергії за рахунок відповідного спрощення гідротехнічного устаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідність пошуку альтернативних джерел енергії зумовлена вичерпністю паливних корисних копалин і антиекологічним характером їх використання, обмеженістю гідроресурсів та загрозою затоплення території, відсутністю достатніх гарантій повної безпеки атомних електростанцій. Питання екології належать до глобальних проблем людства, але в кожному окремо взятому регіоні вони мають свої особливості.

Одним зі способів підвищення ефективності мікроГЕС є їх об'єднання в АСЕП. Включення декількох станцій на паралельну роботу дає змогу повторно використовувати енергію водяного потоку, а збільшення числа споживачів вирівнює графік навантаження енергосистеми.

Процес включення мікроГЕС на паралельну роботу не відрізняється від загальноприйнятого [2, 4]:

- напруга генератора, що включається, має бути рівна напрузі вже працюючого генератора;
- частоти генераторів мають бути однаковими;
- чергування фаз генераторів має бути однаковим;
- напруги працюючих генераторів, що включаються, мають збігатися за фазами.

Ці вимоги мають строго виконуватися для синхронних машин. Включення асинхронних генераторів на паралельну роботу допускає великі відхилення напруги і частоти від ідеальних умов. Процес синхронізації асинхронних генераторів при цьому спрощується і знижується час на проведення операції. Для асинхронних генераторів з нерегульованим ємкісним збудженням коефіцієнт саморегулювання перебуває в межах 0,1...0,3. Коефіцієнт саморегулювання відцентрових насосів, що працюють у турбінному режимі, становить $e_r = -(2,5 \dots 6,5)$, що забезпечує великий запас стійкості автономних мікроГЕС і систем електропостачання з декількох установок, що працюють на загальне навантаження. Вимоги максимального спрощення конструкції мікроГЕС і її обслуговування зумовлюють вибір саме асинхронних електричних машин для побудови локальної електричної мережі.

Постановка завдання. У роботі проведений аналіз проблем мікроГЕС під час роботи на автономні електричні мережі, проведене дослідження енергетичних характеристик роботи мікроГЕС під час роботи на автономні електричні мережі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час об'єднання декількох мікроГЕС у

локальну електричну мережу виникає додаткова проблема рівномірного завантаження гідроагрегатів, що працюють на загальне навантаження. На великих ГЕС навантаження між агрегатами зазвичай розподіляють за допомогою регулювання потужності приводних двигунів. У мікроГЕС з нерегульованими турбінами стабілізувати робочий режим енергосистеми можна тільки з боку навантаження.

Розглянуті вище автобаластні системи стабілізації автономних мікроГЕС дають підставу припустити можливість їх застосування у разі побудови АСЕП. Створення уніфікованої конструкції мікроГЕС, здатної працювати як в автономному режимі, так і у складі локальної електричної мережі, дає безперечні переваги для гнучкішого вибору можливого варіанту електропостачання з урахуванням географічних особливостей місця розташування станцій, типу і характеру навантажень, вимог до якості електроенергії, що генерується, і так далі.

Можливі два основні варіанти побудови АСЕП на основі автобаластних систем стабілізації.

У першому варіанті гідроагрегати $T_1 - G_1$, $T_2 - G_2 \dots T_n - G_n$ працюють на загальне навантаження H (рис. 1).

Регулятор баластного навантаження РБН перерозподіляє струм між корисним H і баластним навантаженням БН так, щоб сумарний струм, що віддається генераторами, був приблизно постійним. За такої схеми включення регулятора баластного навантаження аналогічний регуляторам для автономних режимів, і тому можуть використовуватися струмові і частотні схеми стабілізації параметрів. Розподіл навантаження між генераторами в загальному випадку залежатиме тільки від співвідношення їх внутрішніх опорів і похибки стабілізації еквівалентного навантаження всієї системи.

Інший варіант паралельного включення мікроГЕС передбачає використання індивідуальних автобаластних систем. Цей варіант легко отримати шляхом простого об'єднання автономних станцій, що діють (рис. 2).

Проведені дослідження показали, що забезпечити стійкий режим роботи АСЕП за такої побудови досить складно. Відмінності в потужностях баластних навантажень, коефіцієнтах посилення, постійних часу і в інших параметрах стабілізуючих систем і гідроелектроагрегатів приводять до змін сумарного навантаження АСЕП у значно ширших межах, ніж потрібно для стабілізації робочих режимів станції.

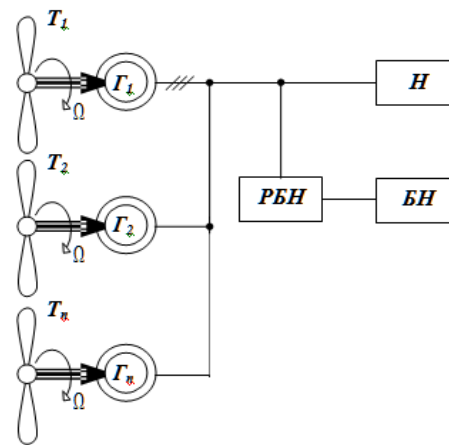


Рис. 1. Структурна схема автономної системи електропостачання з одним регулятором баластного навантаження

Перспективним способом підключення індивідуальних регуляторів баластних навантажень є модифікація першого варіанту побудови АСЕП (рис. 2).

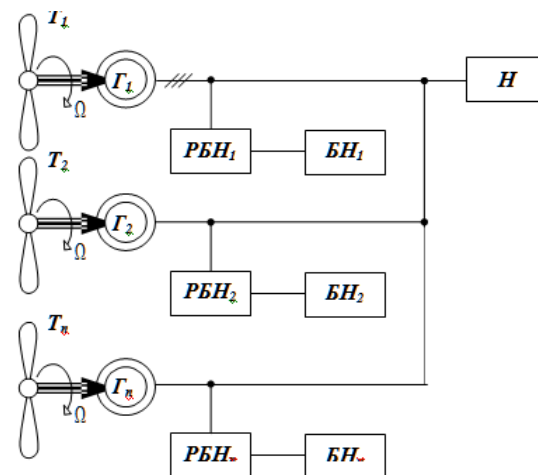


Рис. 2. Структурна схема автономної системи електропостачання з індивідуальними регуляторами баластного навантаження

Особливістю такої схеми є можливість гнучкішого регулювання потужності баласту. Якщо поєднувати фазове регулювання з дискретним включенням дозованих ступенів баластного навантаження, то фазове регулювання здійснюватиметься тільки на одному ступені баластного навантаження, тоді як решта ступенів комутуватиметься тиристорними ключами.

Застосування в АСЕП асинхронних генераторів з ємкісним збудженням обмежує можливості з регулювання збудження. При цьому величина напруги безпосередньо залежить від можливого діапазону зміни еквівалентного навантаження станції.

На рис. 3 наведена структурна схема автономної системи електропостачання з багатоступінчастим регулятором баластного навантаження.

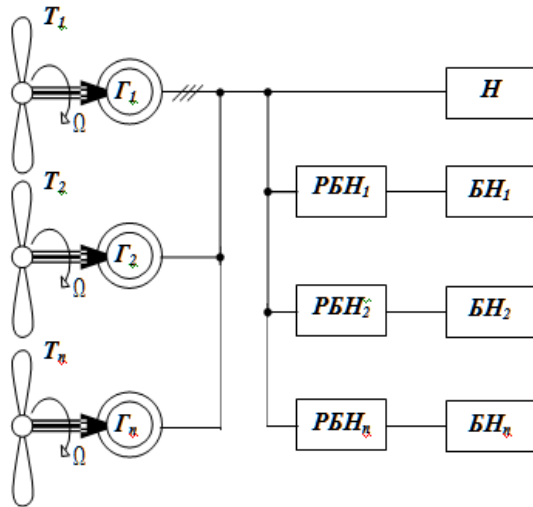


Рис. 3. Структурна схема автономної системи електропостачання з багатоступінчастим регулятором баластного навантаження

На рис. 4 наведені розрахункові криві зміни вихідних електричних параметрів АСЕП, побудованої на базі двох гідроагрегатів рівної потужності, за зміни корисного навантаження від холостого ходу до номінального значення. Номінальний коефіцієнт потужності корисного навантаження = 1,0.

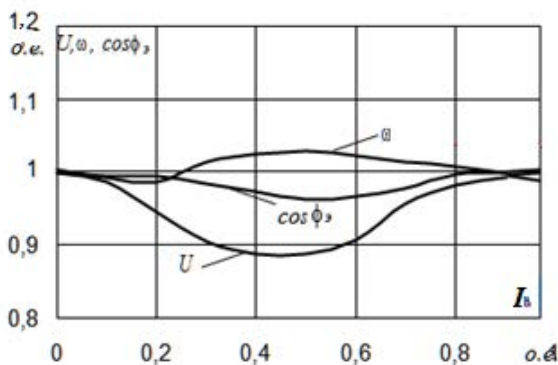


Рис. 4. Залежність вихідних параметрів АСЕП $\cos \phi$ від струму корисного навантаження ($\cos \phi = \cos \phi_b = 1,0$)

Коефіцієнти саморегулювання гідротурбін рівні $e_{r1} = e_{r2} = -5,45$. Як регулятор використовувалися біполярні осередки тиристорів, залежність кутів управління тиристорами яких описується виразом:

$$\alpha = \pi \frac{I}{I_{ном}}, \text{ рад}$$

де $I, I_{ном}$ – поточне і номінальне значення струму корисного навантаження.

З рис. 4 видно, що найбільші відхилення вихідних параметрів щодо номінальних значень мають місце за 50% навантаження АСЕП. Пояснюється це тим, що в цьому режимі еквівалентне навантаження має яскраво виражений активно-індуктивний характер з мінімально можливим значенням $\cos \phi_c$. Реактивна енергія, що виробляється батареєю конденсаторів, витрачається при цьому не тільки на збудження генератора, але і на покриття індуктивною складовою частиною струму еквівалентного навантаження. За незмінної величини ємкості конденсаторів, що збуджують, відбувається зменшення струмів генераторів, що намагнічують, що приводить до падіння напруги в мережі. Це викликає зменшення струму корисного навантаження, яке не повною мірою компенсується струмом баластного навантаження. В результаті сумарний гальмівний момент генераторів зменшується, і гідроагрегати розганяються. Виходить замкнута система регулювання з позитивним зворотним зв'язком.

Похибка стабілізації в такому разі становить $\pm 12,1\%$ для напруги і $\pm 3,5\%$ – для частоти щодо номінальних значень.

Ослабити позитивний зворотний зв'язок дає змогу введення в закон управління вентилями регулятора корекції по напрузі:

$$\alpha = \pi \frac{I}{I_{ном}} \cdot \frac{U_{ном}}{U} \cdot \text{рад}$$

Похибка стабілізації напруги при цьому зменшується по частоті від значень $\pm 9,0\%$ до значень $\pm 2,5\%$.

Введення каналу регулювання збудження генераторів може підвищити точність стабілізації напруги в АСЕП. Але можливості з регулювання напруги асинхронних машин сильно обмежені. У разі використання джерелом реактивної потужності напівпровідникових перетворювачів відбувається значне ускладнення і дорожчання установки. Конденсатори з нелінійною ємкістю (варіконди) мають значно гірші масогабаритні показники порівняно зі звичайними і обмежений діапазон робочих температур. До того ж їхні параметри сильно залежать від постійної і змінної складових частин напруги, що негативно позначається у разі їх спільної роботи з регуляторами тиристорів в якірному ланцюзі генератора.

Ефективніший спосіб регулювання напруги асинхронного генератора шляхом підмагнічування спинки статора. Для цього на статорі електричної машини укладається додаткова обмотка постійного струму. У разі зміни струму підмагнічування міняється ступінь насичення сердечника статора і відповідно положення кривої намагнічування. Зазвичай

струм підмагнічування максимальний у режимі холостого ходу і зменшується зі збільшенням навантаження. Як один з варіантів формування струму підмагнічування можливе використання постійного складника струму баластного навантаження. Очевидно, що цей спосіб регулювання напруги асинхронного генератора вимагає спеціальної конструкції електричної машини, значно ускладнює і здорожчує загальну схему установки.

Спосіб штучного формування механічної характеристики генератора для підвищення точності стабілізації, використовуваний в автономних мікроГЕС на базі синхронного генератора, у такому разі ефекту не дає, оскільки за одноканального регулювання забезпечити незмінність немає можливості.

На рис. 5 представлені експериментальні залежності зміни вихідних електричних параметрів мікроГЕС, побудованої на основі асинхронної машини 4А112М4У3 ($P=5,5$ кВт, $\text{ККД}=0,855$, $\cos\varphi_{\text{ном}}=0,85$), з приводом від двигуна постійного струму, жорсткість механічної характеристики якого відповідає $e_{\tau} = -3,75$. Потужність корисного і баластного навантажень дорівнювала 4,5 кВт, регулювання баластного навантаження здійснювалося вручну за допомогою біполярних осередків тиристорів шляхом подачі замикаючої напруги на схему порівняння. Величина ємкості збудливих конденсаторів, сполучених у зірку, становила 101 мкФ/фазу.

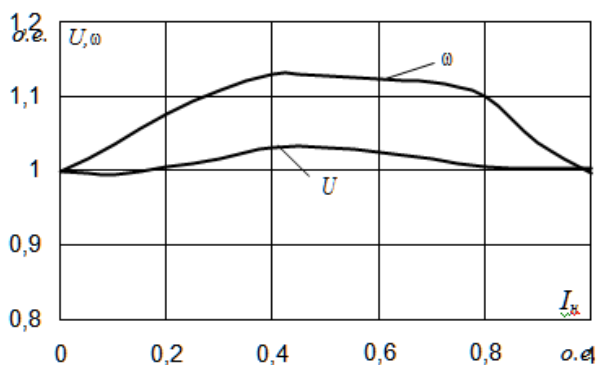


Рис. 5. Вихідні параметри АСЕП за оптимального закону управління тиристорами РБН

Оптимальний закон управління тиристорами регулятора в експерименті формувався за умови мінімально можливого відхилення величини напруги від номінального. При цьому вдається забезпечити стабілізацію напруги з похибкою не більш $\pm 3\%$, проте відхилення частоти обертання генератора зростає до 14%. Одним з чинників, що роблять істотний вплив на відхилення величини і характеру еквівалентного навантаження від номінальних значень (відповідно величини і частоти

напруги, що генерується), є величина баластного опору. На рис. 6 показані залежності відхилення параметрів напруги, що генерується, і коефіцієнта потужності еквівалентного навантаження від величини корисного навантаження. Найбільш характерними для оцінки якості регулювання параметрів мікроГЕС є режим холостого ходу, коли станція працює тільки на R_{σ} , і режими, близькі до 50% навантаження, що відповідає максимальній погрішності стабілізації еквівалентного опору. У цьому прикладі АСЕП побудована на базі двох асинхронних генераторів однакової потужності 5,5 кВт, коефіцієнти саморегулювання приводів однакові і рівні $e_{\tau 1} = e_{\tau 2} = -5,45$, номінальний коефіцієнт потужності корисного навантаження $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,8$. Баластне навантаження чисто активне $\cos\varphi_{\sigma} = 1,0$.

Величина баластного опору вибиралася з міркувань рівності активної потужності в номінальному режимі і режимі холостого ходу. Змінна величина корисного активно-індуктивного навантаження викликає зміну коефіцієнта потужності еквівалентного навантаження від $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,8$ до $\cos\varphi_{\sigma} = 1,0$. Оскільки величина збудливих ємкостей генераторів у всіх режимах залишається незмінною, струми генераторів у режимі холостого ходу зростають більш ніж на 20% порівняно з номінальними. Для обмеження струмових перевантажень якірних обмоток генераторів, що працюють на активно-індуктивне навантаження, доцільно зменшувати завантаження машин у номінальному режимі на 15...20%, тобто величина баластного опору має вибиратися на 20...25% більше номінального опору корисного навантаження.

Важливою особливістю паралельної роботи асинхронних генераторів з приводом від гідротурбін сумарної потужності є залежність розподілу завантаження між ними від жорсткості механічних характеристик.

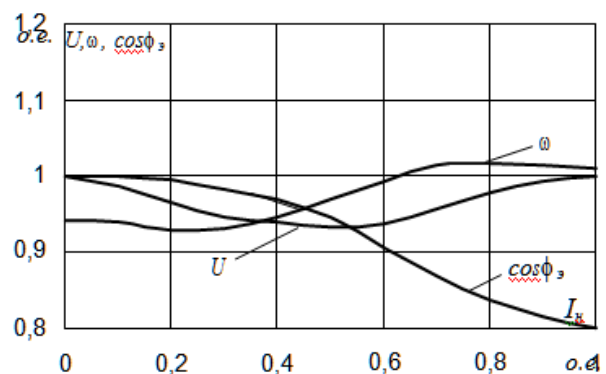


Рис. 6. Залежність вихідних параметрів АСЕП від струму корисного навантаження ($\cos\varphi_{\text{н}} = 0,8$; $\cos\varphi_{\sigma} = 1,0$)

Як приклад розглянемо випадок, коли потужності турбін у номінальному режимі рівні, але їх коефіцієнти саморегулювання різні. Цьому відповідають залежності $M_{mi} = f(\Omega_i)$, представлені на рис. 7. Якщо нехтувати ковзанням генераторів, то можна вважати, що гідроагрегати мають однакову частоту обертів. Тоді в номінальному режимі, відповідному на рис. 7 значенню Ω_n , моменти, що розвиваються турбінами, рівні $M_1 = M_2 = M_n$.

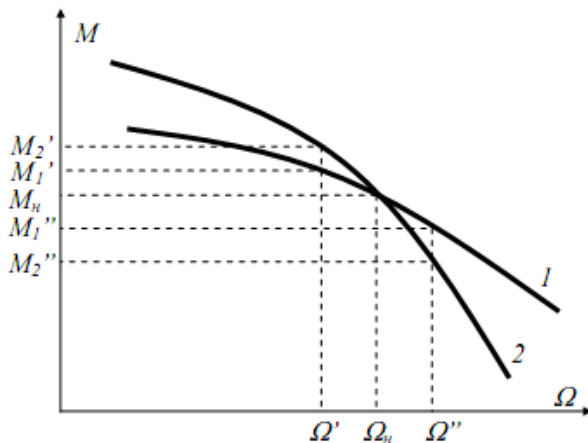


Рис. 7. Розподіл навантаження між двома паралельно працюючими гідроагрегатами за зміни частоти обертів

Тоді для нового значення частоти обертання різниця між моментами турбін становитиме:

$$\Delta M = |\Delta \Omega \cdot (e_{m1} - e_{m2})|$$

У разі зміни навантаження цієї системи моменти приводних двигунів також змінюються. Це приводить до зсуву робочих точок на характеристиках гідротурбін. Величину зміни моментів кожного гідроагрегату можна визначити за формулами:

$$\Delta M_1 = M_n \pm \Delta \Omega \cdot \text{tg} \gamma_1$$

$$\Delta M_2 = M_n \pm \Delta \Omega \cdot \text{tg} \gamma_2,$$

де γ_1, γ_2 кути нахилу дотичних до механічних характеристик турбін у номінальній точці.

За цією формулою можна приблизно оцінити розподіл навантаження між енергоустановками залежно від похибки стабілізації частоти обертання АСЕП. Наприклад, для генераторів однакової потужності, що працюють від гідротурбін, різниця в коефіцієнтах саморегулювання яких становить $\Delta e = 3,0$, а максимальна похибка ста-

білізації частоти обертання $\Delta \omega = 5\%$, нерівномірність завантаження становитиме 15%.

Відзначимо, що найбільш небезпечним режимом АСЕП з погляду завантаження генераторів є зменшення частоти обертання порівняно з номінальною. Оскільки зниження частоти обертання пов'язане зі збільшенням сумарного навантаження паралельно працюючих генераторів, велика різниця в коефіцієнтах саморегулювання приводних турбін може привести до значного перевантаження обмоток електричної машини по струму. Для виключення подібних випадків велике значення має правильний вибір величини баластного опору, за допомогою якого можна зміщувати регульовальну характеристику еквівалентного навантаження, забезпечуючи найбільш переважні статичні режими роботи АСЕП у всьому діапазоні зміни корисного навантаження.

Очевидно, що для забезпечення рівномірного розподілу навантаження між паралельно працюючими генераторами необхідно вибирати гідродвигуни з близькими коефіцієнтами саморегулювання, а величину баластних опорів з урахуванням характеру зміни корисного навантаження і наведеними вище рекомендаціями.

У разі застосування частотних схем регулювання для стабілізації режимів паралельно працюючих асинхронних генераторів параметри стабілізуючих систем можуть вибиратися відповідно до рекомендацій для аналогічних систем автономних мікроГЕС. Особливістю ж роботи АСЕП з асинхронними генераторами буде те, що частота напруги, що генерується, відрізнятиметься від частот обертання роторів електричних машин на величину ковзання.

Висновки. Аналіз режимів роботи станцій з асинхронними генераторами мікроГЕС на автономній мережі дає змогу зробити такі висновки:

1. Розподіл навантаження між генераторами електростанцій залежить від значень коефіцієнтів саморегулювання приводних гідротурбін і діапазону зміни еквівалентного навантаження станції.

2. Похибка стабілізації напруги паралельно працюючих асинхронних генераторів визначається відхиленням еквівалентного навантаження від номінальних значень і в загальному випадку відповідає аналогічним значенням для автономних станцій.

Список літератури:

1. Абдрахманов Р.С., Переведенцев Ю.П. Возобновляемые источники энергии. Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1992. 134 с.
2. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Микрогидроэлектростанция. Опубл. в Б.И. Бюлл. № 17, 1987

3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Динамика микрогидроэлектростанции с автобалластной стабилизацией напряжения. *Электротехника*, 1989, № 10. С. 9–12.

4. Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. Москва : Энергоатомиздат, 1986. 199 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАЦИЙ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ НА АВТОНОМНЫЕ СЕТИ

В статье проведен анализ проблем работы микрогидроэлектростанций при работе на автономные электрические сети, проведено исследование энергетических характеристик работы микроГЭС при работе на автономные электрические сети. Распределение нагрузки между генераторами электростанций зависит от значений коэффициентов саморегулирования приводных гидротурбин и диапазона изменения эквивалентной нагрузки станции. Погрешность стабилизации напряжения параллельно работающим асинхронных генераторов определяется отклонением эквивалентной нагрузки от номинальных значений и в общем случае соответствует аналогичным значениям для автономных станций.

Ключевые слова: *энергосбережение, гидроэнергетика, энергетические характеристики, автономные энергетические установки, энергоэффективность, нетрадиционная энергетика, энергетика Украины.*

THE ASSAYING OF OPERATION MODES OF MICRO HYDRO POWER PLANTS IN PARALLEL OPERATION ON AN OFFLINE NETWORK

The article analyzes the problems of microhydroelectric power plants when working on Autonomous electrical networks, the study of the energy characteristics of the micro-hydroelectric power when working on Autonomous electrical networks. Load distribution between power plant generators depends on the values of the self-regulation coefficients of the drive turbines and the range of variation of the equivalent load of the station. The error of voltage stabilization of parallel operating asynchronous generators is determined by the deviation of the equivalent load from the nominal values and generally corresponds to the same values for Autonomous stations.

Key words: *energy saving, hydropower, energy characteristics, Autonomous power plants, energy efficiency, unconventional energy, energy of Ukraine.*

Савченко Н.П.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Трет'як А.В.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ГІБРИДНИМИ НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ СПОЖИВАЧІВ

Стаття присвячена аналізу різних типів систем накопичення енергії для систем автономного електропостачання. Також запропоновано вдосконалену систему накопичення енергії з гібридними накопичувачами від альтернативних джерел із метою підвищення надійності та якості безперебійного електропостачання неенергоємних споживачів.

Ключові слова: автономне електропостачання, система накопичення енергії, накопичувачі енергії, елементи, що акумулюють (ЕА), кінетичний енергонакопичувач (КЕН).

Постановка проблеми. Автономне електропостачання є актуальною тематикою в багатьох країнах світу, не є винятком і Україна. Більшість електричних мереж напругою 0,4 кВ є зношеною і потребує чималих капітальних витрат для відновлення і модернізації, тому все більше виникає випадків, за яких економічно доцільним буде застосування автономного електропостачання. Для забезпечення якісного повноцінного електропостачання малопотужних об'єктів від автономних систем електропостачання з альтернативними джерелами живлення важливим є вирішення проблеми зберігання електричної енергії в загальному процесі її перетворення та подальшого розподілу. Віднедавна цьому питанню стали приділяти багато уваги, тож воно є актуальним. Системи накопичення енергії є невіддільною і важливою частиною системи автономного електропостачання з вітроустановками або із сонячними панелями.

Як накопичувачі енергії в сучасних автономних системах електропостачання переважно застосовують хімічні акумулюючі елементи, які мають ряд недоліків, такі як невисокий ККД, обмежене число циклів заряд-розряд, нездатність швидкого реагування, проблематичність утилізації тощо, тому виникає необхідність їх заміни на більш прогресивні екологічні накопичувачі інших типів або застосування змішаних типів накопичувачів зі зменшеною часткою хімічних акумуляторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальний порівняльний аналіз типів накопичувачів, застосовуваних в енергетиці, наведено в наукових працях Ю.М. Астахова, В.А. Венікова,

А.Г. Тер-Газаряна, М. МакКракена та інших учених [1–3]; дослідження щодо застосування накопичувачів в автономних системах електропостачання з поновлюваними джерелами здійснено в роботах Б.В. Лукутіна, І.О. Муравльова, Н.А. Юхно, В.В. Гладкевич та інших науковців [4–8].

Постановка завдання. Проведений аналіз публікацій і досліджень дає змогу зробити висновки, що питання накопичення енергії в автономних системах електропостачання з альтернативними джерелами енергії практично не вирішене з екологічного погляду і вимагає подальшого розвитку систем накопичення зі змішаними накопичувачами відновлюваної електричної енергії. Подальшого розвитку також вимагають наукові дослідження зі створення експериментальних установок накопичення енергії з використанням кінетичних накопичувачів енергії для систем електропостачання різних об'єктів будівництва. Головним завданням є впровадження екологічних систем накопичення в інтелектуальні енергосистеми з великою часткою відновлюваних джерел.

Виклад основного матеріалу дослідження. Застосування передових технологій «розумних мереж» і систем зберігання енергії дає змогу ефективно вирішувати ряд завдань, пов'язаних із генерацією і накопиченням енергії, а також зі зменшенням втрат електроенергії, завдяки зниженню потреби в її перетворенні.

Доцільність застосування автономних систем електропостачання з накопичувачами енергії базується на таких взаємопов'язаних характеристиках:

1. Функціональна надійність системи і її незалежність від енергомережі.

2. Екологічність і довговічність.

3. Економічність, пов'язана зі зменшенням втрат енергії та використанням надлишків енергії для продажу за «зеленим» тарифом.

Більшості поновлюваних джерел притаманний великий недолік – їхня енергія надходить не постійно. Працюючі на ній установки повинні мати або акумулятори, або установки-дублери, що працюють на традиційному паливі, або ж електрична мережа повинна мати достатню ємність і маневреність, щоб компенсувати неритмічність роботи [8].

З вищесказаного випливає, що питання про створення систем накопичення стоїть дуже гостро. Ця ідея не є новою, розроблено безліч проектів систем накопичення з акумуляторами теплової та електричної енергії, видано сотні статей, в яких описуються переваги таких систем і обґрунтовується їх застосування [6; 7]. Але, незважаючи на всі ці досягнення, засоби, що використовуються для зберігання, не є екологічними, що знижує перспективність застосування альтернативних джерел енергії.

Є кілька видів акумуляторів енергії: потенційні, кінетичні, хімічні і термальні [2]. До потенційних належать гідроакумулюючі і пневмоакумулюючі електростанції. Для зберігання кінетичної енергії часто застосовуються маховики, накопити хімічну енергію дають змогу акумуляторні батареї.

На рис. 1 [2] показано різні види акумуляторів, їх енергоємність, а також час, протягом якого

кожен із них може віддавати енергію. На рисунку виділені три ділянки: зліва внизу зібрано пристрої, що забезпечують точну відповідність параметрів електроживлення заданим параметрам, справа вгорі – вирізняються простотою управління і перемикання режимів, а між цими ділянками – джерела, які підходять для резервного живлення [2].

Наведений на рис. 1 поділ накопичувачів дає змогу чітко визначити сфери їх застосування відповідно до необхідних характеристик. Отже, для автономних систем електропостачання найбільш прийнятними є маховики і спеціальні хімічні акумулятори, тому що вони забезпечують високу якість накопиченої потужності, а також акумулятори теплової енергії, які мають досить високий ККД.

За сучасного вирішення питання щодо вибору накопичувача електроенергії беруть до уваги параметри, які визначають його функціональні можливості та ступінь екологічності. До таких параметрів належать максимальна потужність накопичувача, повна енергоємність, час роботи, час реверсу потужності. Також важливими критеріями під час вибору накопичувача є капітальні витрати, термін служби і ККД. На рис. 2 [2] наведено зв'язок перерахованих критеріїв для різних типів накопичувачів.

Відповідно до представлених на рис. 2 даних є цілком обґрунтованим те, що КЕН стає найбільш актуальною заміною акумуляторних джерел безперебійного живлення.

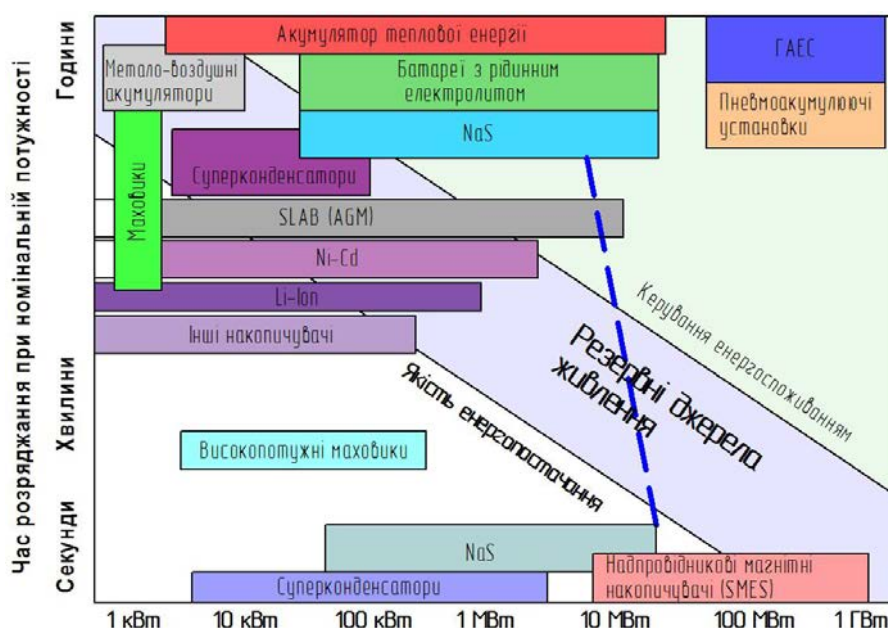


Рис. 1. Різноманітні види накопичувачів енергії

Основна перевага кінетичного накопичувача полягає в простоті технічного обслуговування, високій екологічності і живучості (приблизно до 10 років), а також величезній питомій потужності з усіх типів акумуляторів енергії [4]. Перші такі пристрої не були конкурентоздатні з електрохімічними акумуляторами. Але за останній час з'явилися надміцні і легкі матеріали, підвищилися характеристики постійних магнітів, магнітних підшипників, електроніки. Завдяки їм сучасні кінетичні накопичувачі наділені великою енергоємністю і здатністю швидко віддавати запас енергії, а також у накопичувача відсутній вплив циклів заряду – розряду на термін експлуатації пристрою [5; 11; 12].

Особливістю роботи КЕН є його здатність швидкої розрядки на навантаження, що є позитивним фактором за різкого зростання енергоспоживання.

Незважаючи на всі наведені переваги КЕН, вони ще нездатні повністю замінити акумуляторні джерела безперебійного живлення, тому гібридні системи накопичення енергії не втрачають своєї актуальності.

На рис. 3 наведена структура системи автономного електропостачання з гібридною системою накопичення енергії для малопотужних споживачів.

Принцип роботи такої автономної системи заснований на дотриманні балансу потужностей

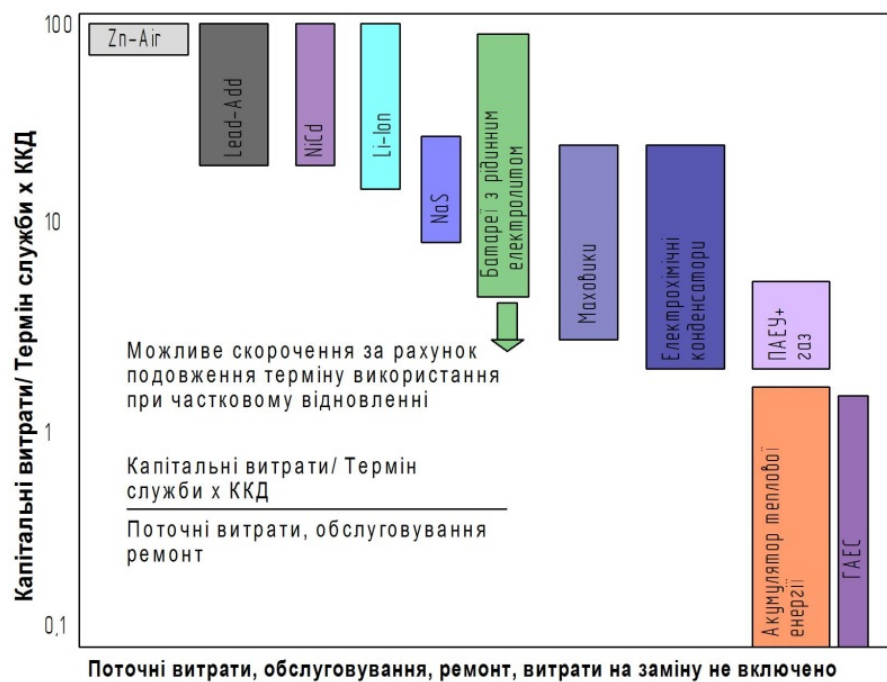


Рис. 2. Загальна вартість технологій збереження енергії за термін служби



Рис. 3. Структурна схема автономного електропостачання зі змішаними типами накопичувачів енергії

і математично може бути описаний математичною моделлю:

$$\begin{cases} P_{нав} \pm P_{кен} + P_{ак} + P_z = 0 \\ Q_{нав} + Q_{кен} + Q_{ак} + Q_z = 0 \end{cases}$$

де $P_{нав}$, $Q_{нав}$ – активні і реактивні потужності споживача відповідно,

P_z , Q_z – активні і реактивні потужності генерації джерел енергії відповідно;

$P_{кен}$, $Q_{кен}$ – активна і реактивна потужності, споживані КЕН;

$P_{ак}$, $Q_{ак}$ – активні і реактивні потужності акумулятора відповідно.

Отже, маємо більш досконалу з економічного та екологічного питань автономну систему, розвиток якої надасть можливість повної заміни

акумуляторних елементів на механічні накопичувачі.

Висновки. У статті розглянуто та проаналізовано перспективи застосування гібридних накопичувачів в автономних системах електропостачання малопотужних споживачів. Зокрема, застосування кінетичних енергонакопичувачів дасть змогу підвищити екологічність системи накопичення енергії і знизити експлуатаційні витрати за весь термін служби.

Наведено структурну схему автономного електропостачання зі змішаними типами накопичувачів енергії, яка описана математичною моделлю, що дає змогу аналізувати режими роботи автономної системи на принципі дотримання балансу потужностей у електричній мережі малопотужного споживача.

Список літератури:

1. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах : учеб. пособие для электроэнергетических спец. вузов. Москва : Высшая школа, 1989. 159 с.
2. МакКракен М. Накопление энергии как способ радикально сократить углеродные выбросы. *Вестник Центра организации объединенных наций по промышленному развитию. ЮНИДО*. 2012. № 8. С. 66–71.
3. Степаненко В.П. Выбор накопителей энергии. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № 3. С. 228–234.
4. Progress in electrical energy storage system: A critical review / Chen H., Cong T.N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y. *Prog. Nat. Sci.* 2009. № 19. P. 291–312.
5. Мировой рынок накопителей энергии. Региональная энергетическая консалтинговая компания. URL: <http://mig-energo.ru/diod/kineticheskie-nakopiteli-energii/mirovoj-rynok-nakopitelej-energii>.
6. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 128 с.
7. Калашников В.И., Левшов А.В., Ткаченко С.Н. Накопление возобновляемой электрической энергии – проблемы и перспективы развития. *Электротехнические и компьютерные системы*. 2014. № 15 (91). С. 20–23.
8. Гладкевич В.В. Анализ источников электроснабжения в их альтернативной системе. *Технико-экономические проблемы сервиса*. 2012. № 2 (20). С. 31–34.
9. Козюков Д.А. Гибридные накопители электроэнергии в ветро-солнечных установках. *Международный научный журнал «Инновационная наука»*. 2015. № 7. С. 33–35.
10. Елистратов В.В., Аронова Е.С. Моделирование работы и оптимизация параметров систем автономного электроснабжения на основе ВИЭ. *Известия российской академии наук. Энергетика*. 2011. № 1. С. 119–127.
11. Yulong P., Cavagnino A., Vaschetto S., Feng C., Tenconi A. Flywheel energy storage systems for power systems application. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Santa Margherita Ligure, Italy, 27–29 June 2017. P. 492–501.
12. Marchenko O. Mathematical modeling and economic efficiency assessment of autonomous energy systems with production and storage of secondary energy carriers. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2010. Vol. 5. Issue 4. P. 250–255.

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ГИБРИДНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Статья посвящена анализу различных типов систем накопления в составе систем автономного электроснабжения. Усовершенствована система накопления энергии с гибридными накопителями от альтернативных источников с целью повышения надежности и качества бесперебойного электроснабжения неэнергоёмких потребителей.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, система накопления энергии, накопители энергии, аккумулирующие элементы (АЭ), кинетический энергонакопитель (КЭН).

**AUTONOMOUS UNINTERRUPTED ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM
WITH HYBRID ENERGY STORAGES FOR LOW-CURRENT CONSUMERS**

The article is devoted to the analysis of various types of accumulation systems as part of autonomous power supply systems. The energy storage system with hybrid drives from alternative sources has been improved in order to increase the reliability and quality of uninterrupted power supply to non-power-consuming consumers.

Key words: *autonomous power supply, energy storage system, energy storage, accumulating elements (AE), kinetic energy storage (CEN).*

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 550.34+622.831

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/05>**Денисюк І.І.**

Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України

Лемешко В.А.

Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України

Поляковська Т.С.

Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ФЛЮЇДУ В ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПЛАСТА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Приведені результати досліджень стосовно визначення полів швидкостей фільтрації флюїду (в'язкої рідини) в порах у разі дії на них акустичних хвиль. Під час розв'язання задачі використані диференційні рівняння, що описують ламінарний рух в'язкої рідини в циліндричному поровому каналі. На підставі отриманого розв'язку розроблена комп'ютерна програма чисельних розрахунків та проведено комп'ютерне моделювання динамічних процесів у порових каналах пласта. Встановлено, що у разі акустичної дії на пласт швидкість руху в'язкої рідини в порових каналах пласта досягає найбільших значень у певному діапазоні частот залежно від розмірів пор. Отримані результати мають практичне значення для розробки перспективних технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів дією акустичних хвиль на пласт.

Ключові слова: фільтрація, швидкість, порове середовище, акустичні хвилі, математичне та комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. У процесі розробки нафтових родовищ фільтраційні характеристики порід-колекторів суттєво погіршуються. На поверхні порових каналів фільтрації пласта відбувається низка процесів. У результаті утворюються штучні малопроникні перешкоди. Вони зменшують потенційну можливість гідродинамічних каналів фільтрації. Істотно знижується продуктивність свердловин і ступінь освоєння надр. Для поліпшення зв'язку продуктивного пласта зі свердловиною застосовують низку відомих методів інтенсифікації, проте вони не завжди ефективні. Найчастіше не враховуються зміни, що проходять у продуктивних пластах у процесі видобування. Застосування того чи іншого методу інтенсифікації не досить обґрунтовується. Деякі методи мають інші недоліки: потреба в громіздкому устаткуванні (гідророзрив), значні енергетичні витрати (теплові обробки), висока вартість реагентів (кислотні обробки та використання поверхнево активних речовин). Одним із альтернативних, екологічно безпечних і мало-

затратних методів підвищення нафтовилучення є хвильова обробка пластів [1–11]. Значна частина досліджень у цьому напрямі стосується впливу пружних коливань на зміну фільтраційних характеристик порового пласта [1; 5; 6; 8; 9; 11]. Для прогнозування результатів акустичної дії необхідно враховувати колекторські властивості порід пласта (пористість, проникність), властивості флюїду (в'язкість), параметри акустичної дії (потужність випромінювача, частотний діапазон хвильової обробки).

Вибір частотного діапазону проводиться без урахування розподілу та розмірів порових каналів. Аналіз приведених літературних джерел також показує, що дослідження швидкості руху флюїду перебуває поза увагою багатьох авторів публікацій. Саме ця величина значною мірою визначає швидкість просування флюїдів до вибою свердловини. Швидкість руху флюїду є одним із основних параметрів під час розрахунку дебіту свердловин і коефіцієнта вилучення нафти із родовищ. У зв'язку із цим дослідження полів швидкостей руху в'язкої

рідини в пористих середовищах пласта є актуальним завданням у плані використання отриманих результатів досліджень для розробки ефективних імпульсно-хвильових та комбінованих методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів. Автори багатьох публікацій [1; 2; 6; 11] вказують на складність механізмів взаємодії акустичних хвиль з поровим середовищем пласта. Вони наголошують на необхідності проведення подальших теоретичних та експериментальних досліджень. Отримані результати стимулюватимуть створення нових хвильових технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів.

Постановка завдання. У цій роботі приведені теоретичні та комп'ютерні дослідження руху пульсуючої рідини (флюїду) в поровому середовищі нафтоносного пласта, який виникає під дією перепаду тиску, що змінюється за гармонічним законом.

Розглядаємо задачу визначення швидкості v під час руху в'язкої рідини в поровому каналі під дією перепаду тиску $\frac{\Delta p}{l} \cos \omega t$. У цьому разі із рівнянь Нав'є-Стокса [12, с. 362] отримане диференціальне рівняння [10, с. 166]:

$$\frac{\partial v}{\partial t} - v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) = \frac{\Delta p}{\rho l} \cos \omega t; \quad 0 \leq r \leq a, \quad t > 0, \quad (1)$$

де v – швидкість руху в'язкої рідини; v, ρ – кінематична в'язкість і густина рідини; a – радіус пори; r – змінний радіус порового каналу; $\frac{\Delta p}{l} \cos \omega t$ – перепад тиску, що змінюється за гармонічним законом. Проінтегруємо рівняння (1) за нульових початкових $v(t=0) = 0$ і нульових граничних умов $v = 0$ при $r = a, t > 0$.

Виклад основного матеріалу досліджень. Застосовуючи до рівняння (1) зображення за Лапласом, отримаємо рівняння в операторному вигляді:

$$\frac{d^2 v_L}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dv_L}{dr} - \frac{s}{v} v_L = \left(-\frac{\Delta p}{\rho l} \right) \frac{s}{v(s^2 + \omega^2)}, \quad (2)$$

де v_L – зображення функції v за Лапласом; s – комплексний параметр. Загальний розв'язок неоднорідного рівняння (2) $v_L(r, s)$:

$$v_L(r, s) = F \frac{I_0 \left(ai \sqrt{\frac{s}{v}} \right) - I_0 \left(ri \sqrt{\frac{s}{v}} \right)}{(s^2 + \omega^2) I_0 \left(ai \sqrt{\frac{s}{v}} \right)}, \quad (3)$$

де $F = \frac{\Delta p}{\rho l}$; $I_0 \left(ai \sqrt{\frac{s}{v}} \right)$; $I_0 \left(ri \sqrt{\frac{s}{v}} \right)$ – функції Бесселя першого роду нульового порядку уявного аргументу, $i = \sqrt{-1}$.

Використовуючи теорему обернення та теорію лишків, розв'язок $v_L(r, s)$ переводили в клас оригіналів. У результаті отримаємо розв'язок рівняння (1) у вигляді залежності:

$$v(r, t) = \frac{F}{\omega} \left[\frac{ber \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) bei \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) - ber \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) bei \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)}{ber^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) + bei^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)} \cos \omega t + \left(1 - \frac{ber \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) ber \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) + bei \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) bei \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)}{ber^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) + bei^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)} \right) \sin \omega t - F \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2a^2 v \alpha_n}{a^2 \omega^2 + \alpha_n^2 v^2} \right) \frac{I_1 \left(\frac{r}{a} \alpha_n \right)}{I_1(\alpha_n)} e^{-\frac{\alpha_n^2}{a^2} t}, \quad (4)$$

де $ber(x), bei(x)$ – функції Кельвіна; α_n – корені функції Бесселя I_0 ; I_1 – функція Бесселя першого роду першого порядку.

Для отримання розв'язку (4) із виразу (3) були використані такі співвідношення для функцій Бесселя комплексного аргументу [13, с. 200]:

$$I_0(x i \sqrt{i}) = ber(x) + ibei(x), \quad I_0(x \sqrt{i}) = ber(x) - ibei(x).$$

Дослідимо розв'язок (4) у граничних випадках. При $\omega \rightarrow 0$ і $t \rightarrow \infty$ із (4) отримаємо

$$v(r) = \frac{Fa^2}{4v} \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right). \quad (5)$$

Розв'язок (5) являє так звану параболу Пуазейля [12, с. 382].

При $t \rightarrow \infty$ із формули (4) маємо стаціонарний розв'язок без останнього члена із сумою. Знайдемо суму функціонального ряду, що входить у розв'язок (4) (при $r = 0$):

$$S = \frac{2a^2}{v} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\alpha_n}{b^2 + \alpha_n^4} \right) \frac{\exp \left(-\frac{v \alpha_n^2}{a^2} t \right)}{I_1(\alpha_n)}, \quad (6)$$

де $b^2 = \frac{a^4 \omega^2}{v^2}$ – безрозмірна величина.

Знакозмінний ряд (6) за ознаками Лейбніца – збіжний. Суму ряду (6) визначали чисельно (з точністю $1 \cdot 10^{-7}$) за заданих параметрів a, ω, v залежно від часу t . Результати розрахунків сум рядів (6) представлені на рис. 1.

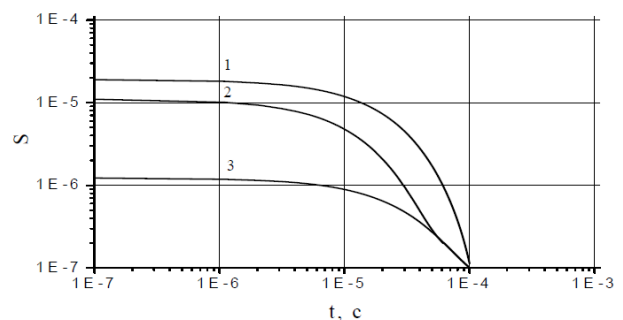


Рис. 1. Значення сум рядів S , обчислених за формулою (6) залежно від часу t за різних значень частоти f ($a = 1 \cdot 10^{-5}$ м; $v = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с): 1- $f = 0$; 2- $f = 10$ кГц; 3- $f = 23$ кГц

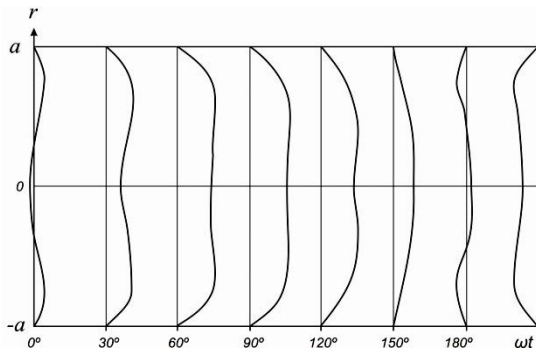


Рис. 2. Епюри поля швидкості фільтрації рідини по перерізу порового каналу пласта при: $a=2,5 \cdot 10^{-4}$ м; $f=200$ Гц; $\nu=1,565 \cdot 10^{-6}$ м²/с

Із рис. 1 видно, що при $t = 1 \cdot 10^{-4}$ с суми рядів (криві 1–3) дорівнюють нулю. Таким чином, вплив суми (6) на загальний розв’язок (4) $t \geq 1 \cdot 10^{-4}$ с відсутній. Враховуючи це, комп’ютерне моделювання полів швидкостей фільтрації рідини проводилося на основі залежності (4) без останнього члена (6).

Для проведення чисельних розрахунків швидкостей $v(r, t)$ стаціонарний розв’язок із (4) приведено до більш простого вигляду:

$$\frac{v(r, t)}{(F/\bar{E})} = \left(1 - \frac{k_1 + k_2}{k^2}\right) \sin \omega t + \left(\frac{k_3 - k_4}{k^2}\right) \cos \omega t, \quad (7)$$

де

$$\begin{aligned} k_1 &= \text{ber}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{bei}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); & k_2 &= \text{ber}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{ber}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); \\ k_3 &= \text{bei}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{ber}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); & k_4 &= \text{ber}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{bei}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); \\ k^2 &= \text{ber}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{bei}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Вираз (7) представимо через одну тригонометричну функцію:

$$\frac{v(r, t)}{(F/\omega)} = K(r) \sin(\omega t + \theta), \quad (9)$$

де

$$\begin{aligned} K(r) &= \sqrt{\frac{k^2 + k_r^2 - 2(k_1 + k_2)}{k^2}}; \\ \sin \theta(r) &= \frac{k_3 - k_4}{\sqrt{k^2 + k_r^2 - 2(k_1 + k_2)}}; \\ k_r^2 &= \text{bei}^2\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{ber}^2\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right). \end{aligned} \quad (10)$$

На основі залежностей (9), (10) з урахуванням позначень (8) розроблена комп’ютерна програма «Пора». Програма «Пора» призначена для обчислення швидкостей фільтрації флюїду в порах залежно від параметрів a, ω, ν . Програма скла-

дається з трьох частин: уведення початкових даних, лічильна частина та виведення результатів розрахунку. Лічильна частина складається з алгоритмів, які використовують функції Кельвіна $\text{ber } x, \text{bei } x$. Значення цих функцій визначали степеневими рядами з точністю до сьомого знаку.

За результатами чисельних розрахунків встановлено, що під час акустичної обробки пласта в порах виникають пульсуючі рухи рідини. Епюри швидкостей руху змінюються в часі (рис. 2). При цьому спостерігаються області стиснення та розрідження, на відміну від паузейлівської течії рідини (при $\omega = 0$). Із приведених епюр видно, що за хвильової дії в перерізі порового каналу виникають обернені пульсуючі течії. Спостерігаються також підвищені швидкості в пристінних областях пори порівняно з областю поблизу осі. Це сприяє збільшенню проникності за рахунок руйнування кольматанта на стінках пор. Динамічні режими течії в’язкої рідини в пласті суттєво залежать від параметра $\beta = a\sqrt{\omega/\nu}$.

Чисельними розрахунками встановлено залежність хвильової дії від радіуса пори та кінематичної в’язкості. На частотах f_m коефіцієнт $K(r)$ (10) досягає максимального значення. Для визначення частоти хвильової дії f_m отримана формула:

$$f_m = \frac{14,44\nu}{2\pi a^2}. \quad (11)$$

Зауважимо, що формула (11) за певних умов зводиться до формули Біо [14, с. 1258]:

$$f_m = \frac{k_n \nu}{2\pi k_{np}}, \quad (12)$$

де k_n – коефіцієнт пористості, k_{np} – коефіцієнт проникності порід пласта.

Справді, прийнявши до уваги співвідношення [15, с. 125]:

$$a = \sqrt{\frac{8k_{np}\phi}{k_n}}, \quad (13)$$

де ϕ – структурний коефіцієнт, що характеризує відмінні особливості будови порового простору реальних колекторів. Значення ϕ можна оцінити шляхом виміру електроопору порід. Для пористих середовищ за експериментальними даними [15, с. 127] коефіцієнт ϕ змінюється від 1,7 до 2,6. При $\phi = 1,805$ із (13) отримаємо:

$$a = \sqrt{\frac{14,44k_{np}}{k_n}}. \quad (14)$$

Підставивши (14) у вираз (11) отримаємо формулу Біо (12).

Для оцінки режимів хвильової дії на поровий пласт визначимо інтегральну характеристику фільтраційних процесів – об’єм відфільтрованої

рідини порою радіуса a у разі хвильової дії на неї. Згідно з [12, с. 382] ця величина визначається за формулою:

$$Q_{\omega} = \pi a^2 \bar{v}, \quad (15)$$

де \bar{v} – середня швидкість фільтрації в'язкої рідини в поровому каналі.

Середня швидкість фільтрації в'язкої рідини в поровому каналі визначається залежністю [12, с. 382]:

$$\bar{v} = 0,5v_m, \quad (16)$$

де v_m – максимальна швидкість фільтрації рідини в циліндричній порі.

Беручи до уваги, що максимальна швидкість фільтрації досягається на осі порового каналу, із залежності (9) при $r = 0$ отримаємо:

$$v_m = \frac{F}{\omega} K_0(\omega), \quad (17)$$

де

$$K_0(\omega) = \frac{\left(1 + \text{ber}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{bei}^2\left(\sqrt{a\frac{\omega}{\nu}}\right) - 2\text{ber}\left(a\frac{\omega}{\nu}\right)\right)^{1/2}}{\text{ber}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{bei}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right)} \quad (18)$$

Враховуючи формули (16), (17), із виразу (15) знаходимо:

$$Q_{\omega} = \frac{\pi a^2}{2\omega} F K_0(\omega). \quad (19)$$

Із використанням співвідношень (19) та (18) на рис. 3 приведені дані розрахунків нормованих об'ємів відфільтрованої рідини Q_{ω} / Q_0 від частоти хвильової дії при $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ для порових каналів різних радіусів (Q_0 – об'єм відфільтрованої рідини порою за частоти $\omega = 0$).

Таким чином, за результатами чисельних розрахунків нормованих об'ємів відфільтрованої

рідини порою у разі застосування хвильової дії на пласт можна досягнути підвищення дебіту свердловин у межах 10–40% порівняно з дією перепаду тиску за частоти $\omega = 0$. Зауважимо, що за результатами промислових випробувань віброхвильової технології на родовищах Західного Сибіру досягнуто підвищення дебіту нафти в середньому на 8,5% (Самотлорське родовище), 10% (Правдинське родовище) і на 15% (Салимське родовище) [16, с. 25]. Більш значного підвищення дебіту свердловин можна досягнути із застосуванням комбінованої дії кількох методів, наприклад, імпульсно-хвильової та хімічної обробок (поверхнево-активні речовини, кислотні розчини, технологічні розчини) [17, с. 75; 18, с. 41]. Важливою особливістю комбінованих методів є те, що імпульсно-хвильова та хімічна обробки не тільки доповнюють одна одну, але і суттєво підсилюють позитивні сторони кожної технології.

Висновки. На основі загальних рівнянь Нав'є-Стокса отримане модельне диференціальне рівняння руху в'язкої рідини в поровому каналі пласта. За нульових початкових і граничних умов визначено загальний нестационарний розв'язок для швидкості фільтрації рідини в порі у разі хвильової дії.

У граничних випадках при $(\omega \rightarrow 0)$ та при $t \rightarrow \infty$ із загального розв'язку отриманий стаціонарний розв'язок Пуазейля, що характеризується епюрою розподілу швидкості по перерізу порового каналу у вигляді параболи.

На підставі отриманого розв'язку розроблена комп'ютерна програма «Пора» для обчислення швидкостей фільтрації флюїду в порах від пара-

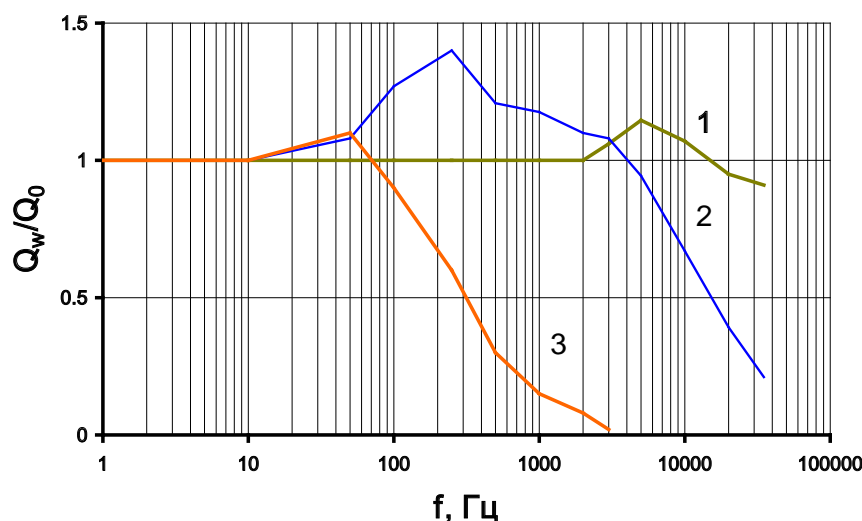


Рис. 3. Залежність нормованих об'ємів відфільтрованої рідини порою від частоти акустичної дії для різних радіусів порових каналів
 a : 1 – $a = 1 \cdot 10^{-6}$ м; 2 – $a = 1 \cdot 10^{-5}$ м; 3 – $a = 1 \cdot 10^{-4}$ м

метрів a , ω , v . Із використанням цієї програми проведено комп'ютерне моделювання динамічних процесів у порових каналах пласта.

Встановлено, що поле швидкостей руху в'язкої рідини залежить від радіуса пори та частоти хвильової дії. Домінантна частота гармонічної дії залежить від розміру порового каналу у разі заданої кінематичної в'язкості рідини.

Встановлено, що пульсуючий рух в'язкої рідини в порових каналах супроводжується хвилями стискування-розрідження. Вони створюють динамічну дію на порові канали та ініціюють знакозмінні фільтраційні потоки. Із аналізу епію динаміки поля швидкостей по перерізу порового каналу випливає, що за гармонічної дії в порі виникають обернені пульсуючі течії. Спостеріга-

ється також підвищення швидкості в пристінних областях порового каналу порівняно з областю поблизу осі каналу.

За результатами проведених чисельних розрахунків нормованих об'ємів відфільтрованого флюїду поровим каналом пласта у разі хвильової обробки його та аналізу літературних джерел рекомендовано застосування комбінованої дії кількох методів, наприклад, хвильової та хімічної обробок.

Отримані результати аналітичних досліджень і результати комп'ютерного моделювання мають практичне значення для розробки перспективних технологій інтенсифікації вуглеводнів як дією акустичних хвиль на пласт, так і комбінованою дією із застосуванням хвильових і хімічних методів.

Список літератури:

1. Beresnev I.A., Johnson P.A. Elastic wave stimulation of oil production: A review of methods and result. *Geophysics*. 1994. V. 59 (6). P. 1000–1017.
2. Горбачев Ю.И. Акустическое воздействие и повышение рентабельности разработки нефтяных месторождений. *Каротажник*. 1999. Вып. 60. С. 55–67.
3. Ellingsen O. EOR by electro-acoustic reservoir simulation: A new approach. *World oil*. 2002. V. 223. No 11. P. 29–33.
4. Poesio P., Ooms G. An investigation of the influence of acoustic waves on the liquid flow through a porous material. *Journal of Acoustical Society of America*. 2002. V. 111(5). P. 2019–2025.
5. Кучернюк А.В. Комплексні технології ударно-хвильової дії на продуктивні горизонти як інструмент підвищення ефективності експлуатації нафтових родовищ. *Нафтова і газова промисловість*. 2003. № 5. С. 23–27.
6. Войтенко В.С., Иовец В.Н., Киреев А.М., Семенов Ю.В. Волновая обработка коллекторов нефти и газа. Минск : Юниак, 2005. 253 с.
7. Бажалук Я.М. Удосконалення технічних засобів імпульсно-хвильової дії на нафтоносні пласти. *Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ*. 2010. № 1 (34). С. 10–13.
8. Гутак О.І. Експериментальні дослідження впливу пружних коливань на зміну фільтрації нафтоводяної суміші. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2011. № 3 (29). С. 53–56.
9. Нагорний В.П., Денисюк І.І., Юшицина Я.О. Підвищення нафтогазовіддачі пластів шляхом акустичної дії. *Геоінформатика*. 2012. № 4. С. 19–21.
10. Нагорний В.П., Денисюк І.І. Математичне моделювання поля швидкостей в'язкої рідини у фільтраційних каналах нафтоносного пласта під дією гармонічних хвиль. *Вісник ХНТУ*. 2017. № 3 (62). Т. 2. С. 166–170.
11. Венгрович Д.Б., Горovenko А.П. Програмно-експериментальний комплекс для дослідження фільтрації флюїду пористим середовищем у полі акустичних хвиль. *Вісник ХНТУ*. 2018. № 3(66). Том 2. С. 191–195.
12. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа*. Москва : Наука, 1978. 736 с.
13. *Справочник по специальным функциям /под ред. М. Абрамовиц, И. Стиган*. Москва : Наука, 1979. 830 с.
14. Biot M.A. Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media. *JASA*. 1962. V. 34. No 9. P. 1254–1264.
15. Ермилов О.М., Ремизов В.В., Ширковский Л.И., Чугунов Л.С. *Физика пласта, добыча и подземное хранение газа*. Москва : Наука, 1996. 541 с.
16. Мохов М.А., Сахаров В.А., Хабибуллин Х.Х. Виброволновое и виброрейсмическое воздействие на нефтяные пласты. *Нефтепромысловое дело*. 2004. № 4. С. 24–28.
17. Сизоненко О.Н., Ляпис Д.Н., Буряк В.Н., Банько В.Н. Влияние электровзрыва на изменение проницаемости кернов пород-коллекторов в процессе фильтрации. *Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий*. 1993. Вып. 1. С. 72–75.
18. Михалюк А.В., Мухин Е.А., Глущенко В.Н., Бузин В.А. *Взрыво-химические методы в горном деле и строительстве*. Киев, 1994. 44 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ФЛЮИДА В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПЛАСТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Изложены результаты исследований по определению полей скоростей фильтрации флюида (вязкой жидкости) в порах при обработке их акустическими волнами. При решении задачи использованы дифференциальные уравнения, описывающие ламинарное движение вязкой жидкости в цилиндрическом поровом канале. На основе полученного решения разработана компьютерная программа численных расчётов и проведено компьютерное моделирование динамических процессов в поровых каналах пласта. Установлено, что при акустическом действии на пласт скорость движения вязкой жидкости в поровых каналах пласта достигает наибольших значений в определённом диапазоне частот, зависящем от размеров пор. Полученные результаты имеют практическое значение для разработки перспективных технологий интенсификации добычи углеводородов действием акустических волн на пласт.

Ключевые слова: *фильтрация, скорость, поровая среда, акустические волны, математическое и компьютерное моделирование.*

COMPUTER MODELING OF FLUID FILTRATION IN SLAB'S POROUS MEDIUM FOR CREATING WAVE TECHNOLOGIES OF INTENSIFICATION HYDROCARBON EXTRACTION

The research results on determination the fields of filtration speed of fluid (viscous liquid) in pores while processing them with acoustic waves are stated. For solution the problem differential equations describing laminar motion of viscous liquid in the cylindrical pore channel were used. Based on obtained solution, computer program of numerical calculations was designed and computer modeling of dynamic processes in slab's pore channels was conducted. It was established that during the acoustic impact on the slab motion velocity of viscous liquid in slab's pore channels gets the highest values in the certain frequency range depending on pores' sizes. Obtained results have practical significance for the development of advanced technologies for intensification of hydrocarbon extraction using the impact of acoustic waves on the slab.

Key words: *filtration, velocity, pore medium, acoustic waves, mathematical and computer modeling.*

Кусень О.Б.

Товариство з обмеженою відповідальністю «Донецьксталь»

Назимко В.В.

Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України

НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ КУТІВ СКРУЧУВАННЯ УЗДОВЖ ПЕРИМЕТРУ РАМНОГО КРІПЛЕННЯ

Наведено результати шахтних інструментальних спостережень пластичних деформацій спецпрофілю рамного піддатливого кріплення. Особлива увага надається дослідженню параметрів поздовжнього скручування, яке призводить до втрати стійкості рам й суттєвого зменшення її несучої спроможності.

Ключові слова: гірничий тиск, гірничі виробки, рамне кріплення, кути скручування.

Постановка проблеми. У зв'язку зі збільшенням глибини розробки корисних копалин неухильно загострюється проблема забезпечення стійкості гірничих виробок. Інтенсивний прояв гірського тиску супроводжується пластичним деформуванням спецпрофілю рамного піддатливого кріплення, що призводить до втрати його стійкості й несучої спроможності [1; 2]. Найбільш типовими пластичними деформаціями були поперечний та косий згини спецпрофілю [3]. Останнім часом у зв'язку з масштабним ефектом все частіше виникає поздовжнє скручування профілю кріплення [4], параметри якого раніше не вивчалися. Такі деформації призводять до втрати стійкості усєї рами, що загострює проблему забезпечення стійкості підготовчих виробок. Отже, **метою статті** є дослідження параметрів пластичного скручування спецпрофілю рамного піддатливого кріплення вздовж його периметру.

Виклад основного матеріалу. Характер розподілу поздовжнього скручування вздовж периметра рамного кріплення вивчався в умовах 11 східної лави шахти Комунарська. Пласт k_3 відпрацьовується на глибині 695 м (рівень 11 східного конвеєрного штреку). Потужність пласта складає 1,52 м. У підшві виробки залягає міцний пісковик, який на даній глибині зберігає абсолютну стійкість, оскільки він не розмокає і не здійснюється в утворений простір. У безпосередній покрівлі залягає шарувата товща аргілітів, алевролітів і вуглистих прошарків. Міцність порід на одновісне стискання не перевищує 40 МПа. Тому безпосередня покрівля нестійка в гірських виробках (у тому числі і в очисному вибої), а вся деформація підготовчих виробок позаду діючої лави відбувається передусім за рахунок зміщення порід покрівлі і певною мірою бічних стінок виробки.

Лава відпрацьовується прямим ходом з випередженням конвеєрного штреку на 40–50 м (рис. 1). Це означає, що умови для підтримки виробки складні, оскільки штрек потрапляє в зону динамічного опорного тиску попереду рухомого очисного вибою, а потім підтримується в зоні активних зрушень позаду лави.

Управління покрівлею в лаві здійснюють шляхом повного обвалення за допомогою комплексу ДМ. Пласт виймають комбайном РКУ-10. На сполученнях використовують секції М-87. Загалом стан лави задовільний. Лінія вибою рівна, секції незаштибовані, вивалів у покрівлі практично не спостерігається.

Сповзання комплексу компенсується відповідним розворотом лави (рис. 1а). Стан лави свідчить про хорошу виконавську дисципліну та задовільну якість кріплення. Сполучення конвеєрного штреку з лавою підтримується за допомогою штучної опори, що викладається з цегли (рис. 1б). Цегла виробляється пресуванням власними силами шахти з породи з добавкою в'язучого матеріалу. Цеглини розміром 30x15x10 см пресуються і висушуються. Міцність цегли на стиск становить 20–30 МПа. Обстеження стану штреку позаду лави показує, що штучна охоронна смуга зберігає свою міцність і стійкість на всій протяжності виїмкової виробки, що добре видно на ділянках, де руйнується сіткове затягування, і у випадкових місцях виникають оголення стінки штучної смуги. Ці ж ділянки свідчать про задовільнену якість викладки штучної охоронної споруди і відсутність пропусків, що дуже важливо для підтримки конвеєрної виробки в задовільному стані.

Вентиляційний штрек підтримується бутовою смугою. При цьому породу для закладки беруть

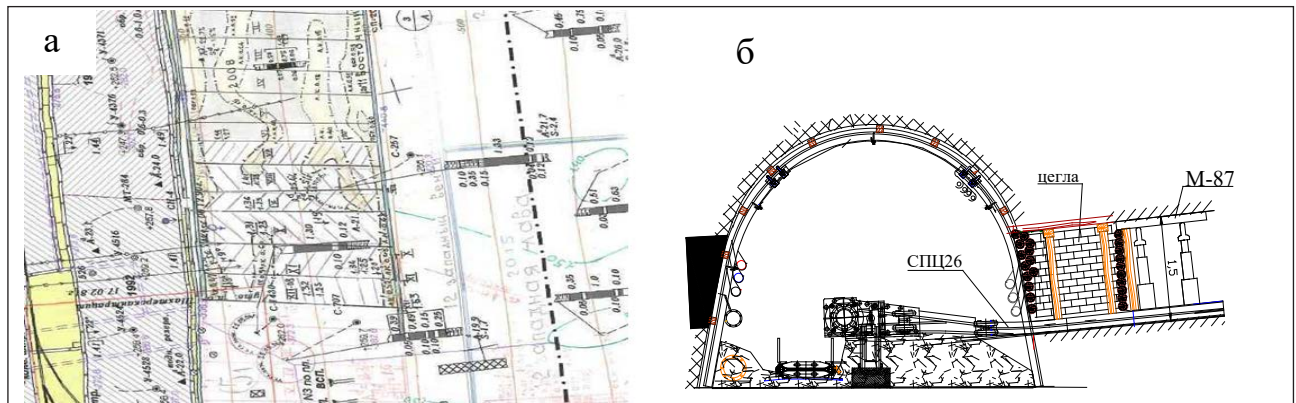


Рис. 1. Фрагмент плану гірничих виробок (а) й ескіз охорони сполучення очисного вибою з конвеєрним штреком (б)

від проходки вентиляційного штреку. Це раціональне рішення мінімізує витрати на зведення охоронної смуги, а також сприяє зниженню зольності вугілля.

Опорну смугу біля бровки конвеєрного штреку викладають з перев'язкою цегли на відстані 1 м від стінки виробки. Ширина штучної смуги з цегли складає 2 м. За потужності пласта 1,4–1,5 м ширина смуги в 1,3 рази більше за її висоту, що сприятливо відбивається на її стійкості і міцності. Відомо, що зразки породи підвищують межу міцності на стиск в 1,5–2 рази за збільшення відносини ширини зразка до його висоти більше одиниці [3].

Штучне охоронне спорудження викладають позаду механізованих секцій спряження лави зі штреком. При цьому між охоронною смугою і зоною повного обвалення залишають закріплені дерев'яними стояками утворений простір на ширину 4–5 м, який по мірі посування лави обвалюють шляхом висмикування стояків. Простір між смугою і стінкою виробки закладають порожньою породою, яка підтримується сітчастим затягуванням з боку виробки. Ця демпферна зона підвищує стійкість штучної споруди і осідаючої на неї слабкої безпосередньої покрівлі.

На ділянках з нестійкою безпосередньою покрівлею сполучення лави з конвеєрним штреком зміцнюють установкою анкерного кріплення. При цьому використовують сталі-полімерні анкери довжиною 1,7 м з повною інкапсуляцією.

Загалом паспорт кріплення сполучення лави з конвеєрним штреком і якість робіт по його виконанню слід визнати практично бездоганними. За наявних темпів посування лави (60–70 м/міс) проблем з доставкою цегли не існує, крім того, є досить часу для якісного виконання операцій з управління покрівлею в зоні сполучення лави з виїмковою виробкою.

Конвеєрний штрек проходить попереду лави з випередженням її на 40–50 м. Це дозволяє рознести очисні і прохідницькі процеси у просторі і усунути можливість затоплення нижньої частини ніші, яка виймається для розміщення приводу лавного конвеєра.

Виробку перетином у світлі 21 м² проводять буро-підричним способом. Кріплення представлене п'яти-ланковим КМП зі спецпрофілю СВП33. Верхні зчленування (верхняка зі стояками) затискають замком ЗСД плюс додаткова одиночна скоба з планкою. Така конструкція замку дає можливість підняти опір замку до 400 кН і зберегти працездатність рамного аркового кріплення у зоні активних зрушень позаду діючої лави. Досвід шахти показав, що застосування трьох одиночних скоб з планками не вирішує цю проблему. За помітного прояву гірського тиску планки згинаються, скоби рвуться, а рама передчасно втрачає стійкість. У деяких місцях на одиночну скобу одягнені стабілізатори, хоча їх позитивний ефект в процесі експлуатації кріплення не відзначається.

На верхняк укладають залізобетонне затягування, боки виробки затягують сіткою, а пласт напроти майбутнього вікна лави залишають незатягнутим. Після проходки лави це вікно закривають сіткою і забутовують простір між затягуванням і штучною смугою. Крок між центрами сусідніх рам приймають рівним 0,5 м. Для забезпечення запасного виходу з діючої лави через кожні чотири рами залишають вікно шириною 0,8 м. Після перекріплення виробки рами встановлюють з кроком 0,5 м. Це досить висока щільність кріплення з огляду на те, що використовується найважчий спецпрофіль СВП-33.

Важливо, що простір між рамою й породним оголенням відразу ж після установки рами закладають порожньою породою. Якість закладки висока, її легко побачити і проконтролювати,

оскільки майже весь перетин виробки кріпиться сітчастим затягуванням. Зазор між породним оголенням і рамами, а також затягуванням не перевищує 5–10 см. Завдяки такому високому виконавському рівню трудомісткість зведення забутівки мінімальна, а кріплення вступає в опір гірському тиску на відстані всього 5–10 м позаду підготовчого вибою. Проте вже навпроти вікна діючої лави починається руйнування і продавлювання залізобетонного затягування. По мірі відходу лави відбувається формування породної складки в покрівлі і зміщення боків виробки особливо з боку лави. Складка орієнтована приблизно по нормалі щодо падіння порід.

На відстані 60–80 м зміщення порід покрівлі досягають 1–1,5 м, а перетин виробки зменшується у півтори рази. Перекріплення гірської виробки виконують залежно від інтенсивності прояву гірського тиску з відставанням від лави на відстані 60–130 м. На відстані 130 м позаду лави висота виробки вкорочується до 2,5 м, а площа її перетину зменшується до 12–10 м².

На окремих ділянках виробку доводиться перекріпляти двічі, оскільки інтенсивність прояву гірського тиску залишається високою. Однак після першого перекріплення помітно продовжує зміщуватися лише покрівля. Інтенсивність зміщення бічних стінок виробки істотно зменшується, що свідчить про високу ефективність штучної споруди, а також позитивний ефект анкерного кріплення на сполученні лави зі штреком.

Незважаючи на високу якість кріплення і вдало спроектований паспорт, у процесі деформації перерізу виробки в зоні активних зрушень спостерігається сильна деформація спецпрофілю

і, зокрема, його поздовжнє скручування і поперечний вигин. Ці деформації є найбільш масовими. У зв'язку з цим проведено масові інструментальні спостереження за деформацією перерізу виробки і деформацією профілю кріплення.

Кожну арку розбивали на 14 ділянок незалежно від ступеня деформування перетину. Сім перших ділянок нумерували з боку незайманого масиву, а сім наступних – починаючи від центру перетину у бік лави. Вимірювання висоти і ширини виробки здійснювали рулеткою, а кут скручування профілю – за допомогою спеціального транспортира. Початкова довжина елементарної ділянки між сусідніми точками виміру становила близько 1,5 м, а за сильної деформації перетину вона зменшувалася до 0,5 м, оскільки периметр виробки істотно скорочувався. Такий підхід дозволив зіставити всі спостереження між собою і виявити певні закономірності.

На (рис. 2) наведено графік розподілу кутів скручування профілю на окремих типових вимірювальних секціях. Точка №8 завжди орієнтована по центру перетину у верхній частині арки. Здебільшого кут поздовжнього скручування у верхній частині арки близький до нуля. Цьому сприяє насамперед висока якість забутівки простору між рамою й породним оголенням і симетричність самої рами кріплення.

На розподілі видно, що кут скручування на окремих ділянках рам досить великий і сягає рівня 40–80°. Позитивний кут приймався за скручування профілю в сторону посування лави, негативний – в іншому напрямку. Як видно, скручування профілю відбувається як в сторону лави, так і в напрямку, протилежному її посуванню.

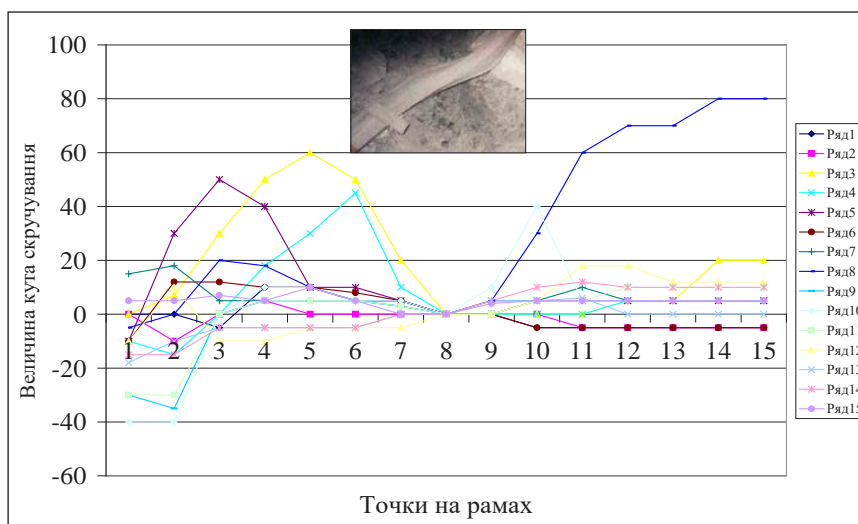


Рис. 2. Розподіл кутів поздовжнього скручування вздовж периметра арок

Загалом малі величини кута поздовжнього скручування спецпрофіля трапляються частіше, а розподіл кутів узгоджується з логнормальним законом. Аналіз середніх величин кутів скручування профілю, незалежно від їх знаку, засвідчив, що профіль закручується на кут $10\text{--}16^\circ$ в середньому і не має домінуючої ділянки, на якій би спостерігалось максимальне скручування. Це означає, що поздовжнє скручування профілю рами може статися на будь-якій ділянці рами.

Однак більш небезпечним є передусім не поздовжній поворот перерізу профілю в просторі, а різниця кутів скручування на сусідніх ділянках. Чим ця різниця більше, тим вище ймовірність втрати стійкості профілю, а отже, і несучої здатності рами. Це наочно ілюструється знімком на рис. 2. Саме на ділянках, які мають максимальну різницю (градієнт) кутів скручування, найчастіше відбувається вигин сегмента і втрата стійкості рами у вигляді поперечного вигину і подальшого зламу рами.

На рис. 3 наведено розподіл градієнта кута (його різниці на сусідніх ділянках) скручування профілю по довжині периметра виробки. Видно, що максимум градієнта між точками досягає $40\text{--}80^\circ$. При цьому максимум градієнта може спостерігатися на будь-якій ділянці рами по довжині її периметра і щодо розмірності периметра рами досягає 48° м^{-1} . Менш схильний до скручування лише найнижчий сегмент стояку рамного кріплення з боку відпрацьованого простору (ділянка периметра між точками 13–15). Це можна пояснити відсутністю здимання пісковику і хорошою

роботою охоронної споруди. Однак стійка рами, зчленована з верхняками (ділянка між точками 8–13) вже відчуває таке ж інтенсивне скручування, як і решта профілю.

Гістограма на рис. 4 показує, що градієнт кутів скручування профілю розподілений симетрично, причому рідко перевищує 20° , а у більшості випадків знаходиться в діапазоні 10° . За формою розподіл нагадує нормальне з великим ексцесом (видовженістю). Це свідчить про те, що для втрати стійкості рамного кріплення і руйнування профілю не потрібен значний кут поздовжнього скручування. Орієнтовна оцінка показує, що критична величина кута поздовжнього скручування, за якої починається пластична деформація вигину спецпрофіля, знаходиться в діапазоні $10\text{--}20^\circ$.

Таким чином, навіть в умовах зразкового кріплення підготовчої виробки, розклинювання рам і якісної забутівки закріпного простору і потужних замках піддатливості спостерігається поздовжнє скручування спецпрофіля і різка втрата стійкості кріплення. Такий негативний ефект у вираженому вигляді спостерігається після вичерпання проектної податливості рамного кріплення, в даному випадку $500\text{--}800 \text{ мм}$. За умов неякісного кріплення виробки і відсутності забутівки закріпного простору негативний ефект поздовжнього скручування спостерігається відразу ж після проходки виробки на відстані $40\text{--}60 \text{ м}$ позаду підготовчого вибою. У переважній кількості випадків перекріплення виробки у момент вичерпання проектної податливості рамного кріплення не здійснюють у зв'язку з напруже-

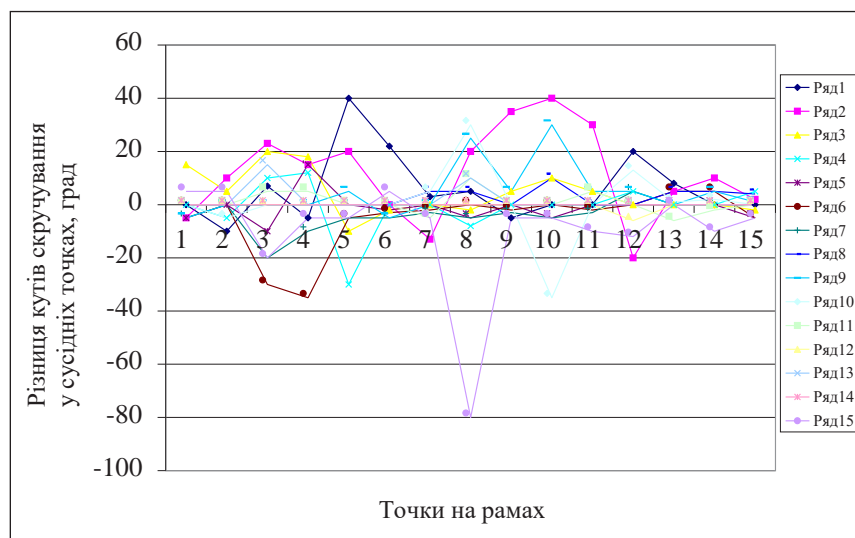


Рис. 3. Розподіл градієнта кута поздовжнього скручування уздовж периметра рами

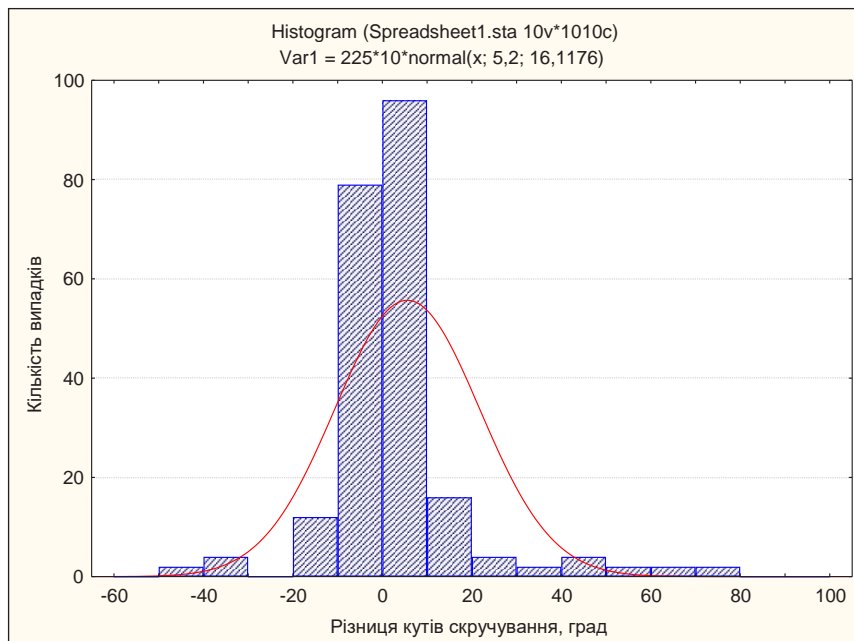


Рис. 4. Розподіл градієнта кутів скручування рам

ним графіком гірничих робіт і з метою економії коштів.

У результаті рамне кріплення передчасно руйнується і різко втрачає свою несучу здатність через поперечний вигин спецпрофіля. Це призводить до швидкого зменшення площі поперечного перерізу виробки, а також неможливості подальшого відновлення сегментів кріплення для їх повторного використання [5]. Якщо запобігти можливості поздовжнього скручування профілю, працездатність рамного кріплення можна значно продовжити, що дозволить розширити термін служби підготовчих виробок у задовільному стані і забезпечити необхідні умови для вентиляції і транспорту [6]. Збереження рамного кріплення також дає можливість повторного використання спецпрофіля після його вирівнювання на спеціальних машинах.

Як показують натурні спостереження, процес пластичного вигину спецпрофіля рамного кріплення протікає у більшості випадків на ділянках поздовжнього скручування. Очевидно, що механізм вигину і скручування протікає через розвиток згинальних і обертаючих моментів, що скручують сегменти рамного кріплення. Такі моменти в натурних умовах зареєструвати вельми складно [6]. Дослідження напружено-деформованого стану рамних кріплень буде виконано на комп'ютерних моделях [7, 8]. Водночас будь-які натурні вимірювання гірського тиску і параметри деформації рам досить важливі для порівняння розрахункових і

фактичних параметрів цього складного геомеханічного процесу. Скручування відбувається як у бік очисного вибію, так і у протилежний, причому величина скручування сягає 80° .

Висновки. Скручування спецпрофілю рамного піддатливого кріплення стало новим типом його небезпечної пластичної деформації, яка призводить до втрати стійкості кріплення та його несучої здатності. Максимум градієнта скручування може спостерігатися на будь-якій ділянці рами по довжині її периметра і щодо розмірності периметра рами досягає $48^{\circ} \text{ м}^{-1}$. Гістограма скручування свідчить про те, що градієнт кутів скручування профілю розподілений симетрично, причому рідко перевищує 20° , а у більшості випадків знаходиться в діапазоні 10° , а сама гістограма нагадує нормальний розподіл з великим ексцесом. Це свідчить про те, що для втрати стійкості рамного кріплення і руйнування профілю не потрібен значний кут поздовжнього скручування. Критична величина кута поздовжнього скручування, за якої починається пластична деформація вигину спецпрофіля знаходиться в діапазоні $10\text{--}20^{\circ}$. Необхідно запобігти можливості поздовжнього скручування профілю, що дозволить значно продовжити працездатність рамного кріплення й розширити термін служби підготовчих виробок у задовільному стані та забезпечити необхідні умови для вентиляції і транспорту.

Список літератури:

1. Sharpe L., Coggan J. Assesment of roadway performance during retreat longwall extraction at a United Kingdom deep mine. *Proc. 27th Int. Conf. Ground control in mining*. Morgantown, WVU, 2016. Pp. 119–128.
2. Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Демченко А.И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок. Днепропетровск : ЧП «Лири ЛТД», 2005. 240 с.
3. Chase F.E., Zipf R.K., Mark C. The massive collapse of coal pillars – case histories from the United State. *Proc. 13th int. Conf. on ground control in mining*. Morgantown, WVU, 2014. Pp. 69–80.
4. Яйцов А.А., Кожушок О.Д., Болбат В.А., Бугаева Н.В. Результаты оценки условий поддержания подготовительных выработок в условиях шахты Красноармейская-западная №1. *Проблеми гірського тиску* : збірник наукових праць ДонНТУ. Донецьк : ДонНТУ, 2007, вип. 15. С. 122–145.
5. Mitri Y.S., Yassani F.P. Structural characteristics of coal mine steel arch supports. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomechanic Absrt.*, 2016, Vol .27, No 2, pp. 121–127.
6. Ambrose D., Whittaker B.N. Strength behavior of steel arch supports with reference to loading distribution. *Min. Sci. Technol.* 2013, Pp. 267–275.
7. Abazovic, E. and A. Amon. A Practice Oriented Modified Linear Elastic Constitutive Model for Fire Loads and Its Application in Tunnel Construction, in Numerical Modeling in Geomechanics – 2013. *Proceedings of the 3rd International Symposium*, Sudbury, Ontario, Canada, October 2013, pp. 313–319, R. Brummer, et al., Eds. Lisse : Balkema.
8. Boidy, E., A. Bouvard and F. Pellet. (2012) Back Analysis of Time-Dependent Behaviour of a Test Gallery in Claystone, *Tunn. & Underground Space Tech.*, 17, pp. 415–424.

**НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ
ПРОДОЛЬНОГО СКРУЧИВАНИЯ ВДОЛЬ ПЕРИМЕТРА РАМНОЙ КРЕПИ**

Приведены результаты шахтных инструментальных наблюдений пластических деформаций спецпрофиля рамной податливой крепи. Внимание акцентируется на исследовании параметров продольного скручивания, которое приводит к потере устойчивости рам и существенно уменьшает её несущую способность.

Ключевые слова: горное давление, горная выработка, рамная крепь, углы скручивания.

**ACTUAL MEASUREMENTS OF PROFILE TORSION ANGLES
ALONG PERIMETER OF A FRAME SUPPORT**

The results of the mine instrumental observations of plastic deformations of the special profile of the frame support are given. Attention is focused on the study of the parameters of longitudinal twisting, which leads to the loss of stability of the frames and significantly reduces its bearing capacity.

Key words: groud pressure, head entry, frame support, torsion angles.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 661.185.76

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/07>

Луценко Л.С.

Національний університет харчових технологій

Радзієвська І.Г.

Національний університет харчових технологій

Бабенко В.І.

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ КОСМЕТИЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОФІЛЬНОГО ЕМУЛЬГАТОРА

Розглянуто властивості емульгаторів, приділено увагу їхньому хімічному складу і факторинговим компаніям стабілізації косметичних емульсій. Доведено ефективність використання композиції з двох поверхнево-активних речовин для забезпечення агрегативної і седиментаційної стійкості косметичної емульсії. Встановлено, що за мінімального вмісту жирової фази 6% і за умови введення 2% гідрофільного емульгатора Olive-etuls і 3,5% цетеарилового спирту існує можливість отримання косметичного емульсійного засобу з високими сенсорними властивостями. Косметичні засоби, виготовлені із застосуванням розробленої бази, не створюють відчуття жирності, липкості, легкі в нанесенні, швидко розподіляються по поверхні шкіри і всмоктуються.

Ключові слова: технологія, косметика, емульсійний крем, загущувач, цетеариловий спирт.

Постановка проблеми. Емульсії є одними з найпоширеніших видів косметичної продукції. Емульсії є основою для різних кремів, косметичного молочка, бальзамів, кремів-фарб для волосся, вітамінних комплексів. Таке різноманіття емульсійних форм зумовлено їхніми специфічними властивостями, зокрема, унікальною можливістю поєднання в собі жирової і водної фази. Діаметральний склад емульсії дає можливість введення різних активних компонентів та зумовлює високі споживчі властивості – поглинання, розподілення по шкірі, зволожуючу здатність тощо.

У косметичній промисловості пред'являються певні вимоги до емульсійних композицій, зокрема, до їх стабільності. Для практичних цілей необхідно вибрати поверхнево-активні речовини (ПАР), що зумовлюють потрібну стійкість емульсії і стабілізують певну кількість дисперсної фази. Слід також визначити, в яких концентраційних межах дана ПАР є стабілізатором. Таким чином, отримання кінцевого продукту з заданими характеристиками базується на експериментальному підході, тобто на проведенні великої кількості попередніх пробних дослідів і виборі кращого складу.

Розробники косметичних засобів повинні мати можливість отримувати композиції із заданим складом, що забезпечує функціональне призначення коштів і бажаний споживчий вигляд. Сьогодні дані про поведінку косметичних емульсій під час введення різних ПАР і високомолекулярних сполук практично відсутні. Це пов'язано як з тим, що складу косметичних композицій підбираються емпірично і є комерційною таємницею кожної компанії, так і з тим, що використовувані ПАР і високомолекулярні сполуки часто є сумішевими системами, а не індивідуальними речовинами, що ускладнює інтерпретацію одержуваних розробниками даних. Однією з основних проблем, з якими стикаються технологи під час розробки нових рецептур, є проблема стійкості емульсійного косметичного засобу за умови зниженого вмісту жирової фази, що визначається собівартістю кінцевого продукту.

Використання готових емульсійних основ дозволяє значно спростити процес розробки рецептур косметичних засобів. Готові емульсійні бази повинні володіти високими тактильними властивостями, загальноприйнятим товарним виглядом за одночасної умови економічності їхнього виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В косметичній промисловості поверхнево-активні речовини для стабілізації косметичних засобів емульсійного типу називають емульгаторами [1, с. 178].

Є достатня кількість ПАР самих різних класів з приблизно однаковою емульгуючою здатністю. Однак під час вибору їх слід враховувати фізико-хімічні властивості всієї системи і область застосування емульсії. Так, в кислому середовищі повинні застосовуватися катіоноактивні емульгатори, а в лужному – аніоноактивні. Якщо в полярній фазі присутня значна кількість солей, то краще використовувати неіоногенні емульгатори, як і при коливаннях рН середовища [2, с. 22].

Дуже часто для стабілізації емульсій використовують суміші ПАР. Зазвичай можливість регулювання властивостей емульсій, зокрема, підвищення їх стійкості, в такому випадку є значно ширшим порівняно з індивідуальними ПАР. Це пояснюється міжмолекулярною (асоціативною) взаємодією ПАР на міжфазній межі з утворенням більш щільної і впорядкованої упаковки молекул на поверхні [3, с. 428]. Найбільш ефективними змішаними стабілізаторами є суміші іоногенних і неіоногенних ПАР, причому найчастіше використовуються суміші аніонних і неіоногенних ПАР [4, с. 29].

В роботі Л.І. Перегудової [5, с. 1169] було показано, що суміш іоногенного ПАР (алкілбензолсульфоната натрію) і неіоногенного ПАР (проксанол-228) більш поверхнево-активна, ніж кожна з досліджених ПАР. У присутності суміші ПАР на міжфазному кордоні утворюється змішаний адсорбційний шар, що призводить до збільшення спорідненості міжфазного шару до суміжних фаз. В роботі С.Е. Мухтарової [6, с. 143] зазначено, що введення допоміжних спів-ПАР супроводжується збільшенням адсорбції основного ПАР і зниженням міжфазного натягу. Оpubліковані роботи, що стосуються стабілізації емульсій сумішами високомолекулярних і низькомолекулярних ПАР [7–9], кілька робіт присвячено стабілізації емульсій сумішами ПАР і протеїнів [10, 11].

Формулювання цілей статті В роботі проаналізовано емульгатор для прямих емульсій Olive-emuls (INCI: Cetearyl glucoside) та цетеариловий спирт (INCI: Cetearyl Alcohol), що проявляє властивості співемульгатора з метою виявлення межі їх емульгуючої здатності. Незважаючи на те, що дані ПАР є сполуками, що випускаються в промислових масштабах, їх колоїдно-хімічні характеристики у відкритій літературі відсутні. Знання цих характеристик необхідне для обґрунтованого підходу під час розробки рецептур на їхній основі,

тому доцільним виявляється експериментальне їх визначення.

Виклад основного матеріалу. З метою виявлення мінімальної межі емульгуючої здатності емульгатора Olive-emuls було виготовлено емульсії, в яких співвідношення водної та жирової фаз не змінювались (2,5:1), а емульгатор додавався у кількості 1, 1,5, 2, 2,5 та 3%.

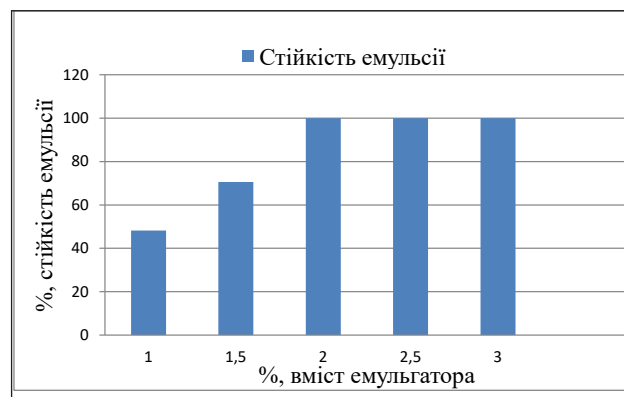


Рис. 1. Залежність стійкості емульсії від вмісту емульгатора

З рис. 1 видно, що при введенні 2% емульгатора стійкість емульсії досягає 100% і не змінюється за наступного його збільшення. Таким чином, під час виготовлення прямих емульсій доцільно вводити емульгатор в кількості 2%, що дозволяє отримувати стійкі системи. Однак з точки зору реології їхні властивості є незадовільними: такі системи дуже малов'язкі, що для технології косметичних продуктів недопустимо. Вирішити зазначені проблеми дозволяє введення так званих структуроутворювачів, в якості яких в даній роботі використовується цетеариловий спирт.

Цетеариловий спирт являє собою речовину, що не розчинна у воді, обмежено розчинна в олії. Для визначення межі розчинності в олії була приготовлена серія розчинів структуроутворювача різної концентрації.

Таблиця 1

Визначення межі розчинності цетеарилового спирту в олії

Концентрація розчинів цетеарилового спирту, %	В'язкість розчинів цетеарилового спирту, Па·с
0	1,011
0,5	1,247
1,0	1,370
2,0	1,560
3,0	2,184
4,0	4,050

Виявлено, що до 3,0% мас. цетеариловий спирт повністю розчиняється в олії, а перевищення концентрації призводить до помутніння розчинів. З огляду на той факт, що приготування емульсії здійснюється під час нагрівання до 70°, було досліджено поведінку реології розчинів структуроутворювача за підвищеної температури.



Рис. 2. В'язкість розчинів цетеарилового спирту в олії

Таким чином, проведені дослідження вказують, що в інтервалі концентрацій 2,2–3,5% мас. в розчинах цетеарилового спирту протікають процеси асоціації. Для подальших досліджень була обрана концентрація структуроутворювача 3,5% мас., тобто така концентрація, за якої його розчини проявляють псевдопластичну поведінку. Встановлено, що введення до складу жирової фази емульсії 3,5% цетеарилового спирту дозволяє одержати засоби з високими сенсорними властивостями: без відчуття жирності, липкості, легкі в нанесенні, що швидко розподіляються по поверхні шкіри і всмоктуються.

Стабільність косметичних емульсій залежить не тільки від вмісту емульгатора, але і від кількості жирової фази. В косметичних емульсійних композиціях вміст жирових фаз варіюється зазвичай в межах 1–20% об. залежно від виду продукції – крем, молочко і так далі. Співвідношення в складі косметики жирової і водної фаз та їх комбінація обирається виробником залежно від конкретних завдань і типу косметики. Необхідно зазначити, що за відсутності структуроутворювача емульсія вкрай нестійка і піддається фазовим розшаруванням протягом 5–10 хвилин.

Встановлено мінімальний вміст жирової фази, що забезпечує одержання стійкої емульсії. Критерієм стійкості емульсій є час розшарування композиції, добре помітний візуально.

На кривій рис. 3 спостерігається максимум, що відповідає концентрації жирової фази від 6 до 8%, коли час життя емульсії максимальний.

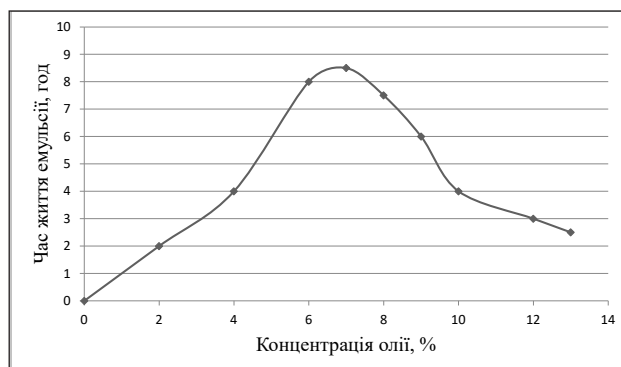


Рис. 3. Залежність часу життя емульсії від концентрації олії

Крива описує поведінку емульсії з використанням 2% емульгатора Olive-emuls. При цьому, згідно з нормативною документацією, мінімально допустимий рівень в'язкості відповідає емульсії, що містить 5–6% мас. жирової фази, тому подальші дослідження проводилися за концентрації олії 6%.

Проведені попередні дослідження дозволяють сформулювати склад емульсійної основи косметичного крему (табл. 2).

Таблиця 2

Склад емульсійної основи косметичного крему

Найменування компонентів		Властивості	Норма внесення, мас. %
Тривіальне	Номенклатурне		
Жирова фаза			
Олія косметична	Butter	емомент	6,0
Спирт цетеариловий	Cetearyl alcohol	модифікатор реології	3,5
Водна фаза			
Емульгатор Olive-emuls	Cetearyl Glucoside	моноемульгатор прямих емульсій	2,0
Вода демінералізована	Оксид гідрогену, вода	розчинник	решта

Використання запропонованої емульсійної основи дозволяє одержати засоби з високими сенсорними властивостями: без відчуття жирності, липкості, легкі в нанесенні, що швидко розподіляються по поверхні шкіри і всмоктуються. Одержана емульсія характеризується наступними органолептичними показниками:

– зовнішній вигляд – однорідна кремо-подібна маса без сторонніх домішок;

– колір – білий;

– запах – нейтральний, невиражений, без стонних запахів;

– тактильні відчуття – в'язка, гладка і ніжна однорідна маса, приємна під час нанесення на шкіру.

Висновки. Досліджено вплави гідрофільного емульгатора Olive-emuls на стабільність емульсії типу о/в і встановлено, що введення 2% емульгатора забезпечує колоїдну стабільність системи. Встановлено оптимальну концентрацію цетеарилового спирту, як загущувача жирової фази, що становить 3,5% мас. за показником в'язкості водно-жирової емульсії з вмістом олії 6%. Виго-

товлені за розробленою рецептурою зразки відповідали стандартному рівню якості та мали сумарну стійкість не менше 100%.

За результатом проведених досліджень, розроблено рецептуру основи косметичної емульсії з новим складом інгредієнтів, що може бути використана як база для різних косметичних продуктів, зокрема, косметичного молочка, бальзаму, крему. Технічним результатом розробки є можливість отримання готового продукту з однорідною кремо-подібною консистенцією з загальноприйнятним товарним виглядом, що добре розподіляється по поверхні шкіри.

Список літератури:

1. Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М., Невпряга П.Ю. Розробка рецептури емульсійного косметичного продукту на основі колоїдних закономірностей. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1 (11). С. 178–187.
2. Чудинова Н.Н. Синтез и коллоидно-химические характеристики косметических эмульсий, стабилизированных ПАВ : дис. ... канд. хим. Наук : 02.00.11. Москва, 2014. 133 с.
3. Мчедлов-Петросян М.О., Лебідь В.І., Глазкова О.М., Лебідь О.В. Колоїдна хімія / за ред. М.О. Мчедлова-Петросяна. Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. 500 с.
4. Волювач О.В. Аналіз поведінки іоногенних поверхнево-активних речовин і поліетиленгліколю-1500 на межі поділу фаз водний розчин-повітря. URL: <http://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/1881> (дата звернення: 16.05.2019)
5. Перегудова Л.И., Урьев Н.Б. Коллоидно-химические свойства смеси поверхностно-активных веществ. *Коллоидный журнал*. 1984. Т.46. № 6. с. 1166–1171.
6. Мухтарова С.Э. Дисперсность и агрегативная устойчивость косметических эмульсий, стабилизированных стеаратными мылами : дис. ... канд. хим. Наук : 02.00.11. Москва, 2003. 153 с.
7. Деркач С.Р., Левачев С.М., Кукушкина А.Н. и др. Вязкоупругость концентрированных эмульсий, стабилизированных бычьим сывороточным альбумином в присутствии неионного ПАВ. *Коллоидный журнал*. 2007. Т. 69. № 2. с. 170–177.
8. Измайлова В.Н., Деркач С.Р., Зотова К.В. Влияние углеводородных и фторсодержащих поверхностно-активных веществ на свойства желатины в объёме водной фазы и на границе с воздухом. *Коллоидный журнал*. 1993. Т. 55. № 3. с. 54–90.
9. Измайлова В.Н., Деркач С.Р., Левачев С.М. Влияние додецилсульфата натрия на свойства межфазных адсорбционных слоёв желатины в стабилизированных ею эмульсионных плёнках. *Коллоидный журнал*. 1997. Т. 59. № 2. с. 174–177.
10. Kelley D., McClements D.J. Influence of sodium dodecyl sulfate on the thermal stability of bovine serum albumin stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 2003. № 17. P. 87–93.
11. Dimitrova T.D., Leal-Calderon F. Forces between Emulsion Droplets Stabilized with Tween 20 and Proteins. *Langmuir*. 1999. № 15. P. 8813–8821.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ КОСМЕТИЧЕСКИХ ЭМУЛЬСИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОФИЛЬНОГО ЭМУЛЬГАТОРА

Рассмотрены свойства эмульгаторов, изучен их химический состав и факторы стабилизации косметических эмульсий. Доказана эффективность использования композиции из двух поверхностно-активных веществ для обеспечения агрегативной и седиментационной устойчивости косметической эмульсии. Установлено, что при минимальном содержании жировой фазы 6% и при введении 2% гидрофільного емульгатора Olive-emuls и 3,5% соемульгатора цетеарилового спирта существует возможность получения косметического эмульсионного средства с высокими сенсорными свойствами. Косметические средства, изготовленные с применением разработанной базы, не создают ощущения жирности, липкости, они легкие в нанесении, быстро распределяются по поверхности кожи и всасываются.

Ключевые слова: технология, косметика, эмульсионный крем, загуститель, цетеариловый спирт.

**INVESTIGATION OF THE STABILITY OF COSMETIC EMULSIONS
USING A HYDROPHILIC EMULSIFIER**

The properties of emulsifiers have been considered, the attention has been paid to their chemical composition and factors of stabilization of cosmetic emulsions. The efficiency of using a composition from two surfactants has been proved to provide aggregate and sedimentation stability of a cosmetic emulsion. It has been established that with a minimum content of the fat phase of 6% and with the introduction of 2% of the hydrophilic emulsifier Olive-emuls and 3.5% of the coetemarger of cetearyl alcohol, it is possible to obtain a cosmetic emulsion with high sensory properties. Cosmetic products made using the developed base do not create a feeling of greasiness, sticky, easy to apply and quickly spread on the surface of the skin and absorbed.

Key words: *technology, cosmetics, emulsion cream, thickener, cetearyl alcohol.*

Твердохліб М.М.

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

Гомеля М.Д.

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

СОРБЦІЙНО-КАТАЛІТИЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПОЛУК МАРГАНЦЮ

У статті представлені результати досліджень з очищення води від сполук марганцю із застосуванням сорбентів-каталізаторів модифікованих сполуками заліза та марганцю. Встановлено, що в статичних та динамічних умовах повного вилучення іонів марганцю можна досягти із застосуванням сорбентів на основі полімерної смоли та магнетиту.

Ключові слова: іони марганцю, магнетит, сорбент, каталізатор, катіоніт.

Постановка проблеми та аналіз публікацій.

Інтенсивне забруднення джерел водопостачання, їх недостатність та обмежена доступність щороку призводить до погіршення якості питної води. Внаслідок цього підземні та поверхневі води можуть містити різноманітні органічні та неорганічні хімічні речовини. Деякі з них перевищують допустимі норми присутності у воді.

Надлишок сполук марганцю у воді для питних та побутових потреб призводить до розвитку багатьох захворювань. Відповідно, санітарно-гігієнічним вимогам України допустимі норми присутності марганцю у воді становлять $\leq 0,1$ мг/дм³. Натомість шляхом природних чинників або антропогенного впливу марганець присутній у воді може знаходитися у концентраціях 0,5–5 мг/дм³ [1].

Багаточисельні літературні дані свідчать про розробку нових напрямів в очищенні води від сполук марганцю в останні роки [2–4]. До ефективних методів видалення розчинних сполук марганцю із води належать такі, які передбачають застосування фільтрувальних завантажень із нанесеною на гранули матеріалу окислювальною плівкою. Вона виступає як каталізатор окислення. Як правило, при цьому гранули фільтруючого завантаження вкриваються вищими окидами металу – частіше за все, оксидом марганцю. З цією метою як основу фільтрувального завантаження використовують природні матеріали та модифіковані сорбенти, наприклад базальтовий гравій, антрацит, кварцовий пісок, доломіт [5, с. 490], полімерні матеріали, опоку [6, с. 355], цеоліт, керамзит, кварцит та глини різного походження [7, с. 1340].

Модифікація цеоліту марганцевим оксидом або оксидом заліза призводить до підвищення його сорбційних та каталітичних властивостей. Проведені дослідження з вилучення іонів марганцю за допомогою таких сорбентів показали, що цеоліт модифікований перманганатом калію має більшу сорбційну ємність, ніж цеоліт, покритий оксидом заліза [8, с. 71].

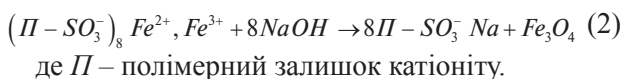
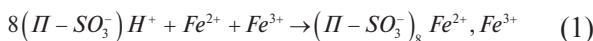
За кордоном широко використовуються фільтрувальні завантаження марок Birm та Greensand. Гранульоване фільтрувальне завантаження Birm виготовлене штучним нанесенням плівки диоксиду марганцю MnO₂ на поверхню матеріалу. Іншим близьким аналогом є глауконітовий мінерал, активований перманганатом калію – Greensand. Сорбент-каталізатор, синтезований українськими вченими з природної марганцевої руди [9], має схожі до запропонованих аналогів іноземних виробників властивості. Проте всі ці каталізатори є досить дорогими, адже під час їх виготовлення використовують дефіцитні сполуки марганцю.

Досить добре себе зарекомендували магнітні сорбенти на основі оксиду заліза в процесі вилучення барвників та нафтопродуктів з води [10, с. 263]. Найбільш прийнятним магнітним модифікатором є магнетит Fe₃O₄. Аналіз літературних даних свідчить, що магнітні композити, які створені на основі силікагелю, активованого вугілля, вуглецевих нанотрубок та глинистих мінералів, покритих магнетитом, досить ефективні у вилученні важких металів [11, с. 378]. Попередньо проведені дослідження з вилучення сполук заліза із води за допомогою сорбента-каталізатора

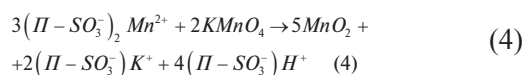
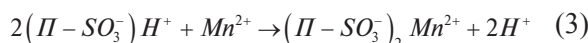
на основі іонообмінної смоли модифікованої магнетитом [12, с. 332] показали, що такий сорбент має досить гарні окислювальні властивості щодо іонів заліза. Тому були проведені дослідження із застосуванням модифікованого сорбенту для очищення води від сполук марганцю.

Для дослідження окислювальної здатності каталітичного завантаження щодо сполук марганцю у воді розчини, приготовані на водопровідній воді з початковими концентраціями 1–30 мг/дм³, додавали 10 см³ каталітичного сорбенту, після чого відстоювали протягом 4 годин, щогодини визначаючи залишкові концентрації марганцю. Як каталітичне завантаження використовували катіоніт КУ-2-8, модифікований магнетитом та оксидом марганцю в Н⁺, Na⁺ та Ca²⁺ формах. З метою інтенсифікації процесу окиснення проводили аерування розчинів із сорбентом за допомогою пористого аератора зі швидкістю насичення води киснем 0,5 дм³/хв.

З метою модифікації катіоніту магнетитом за статичних умов його обробляли розчином, що містить суміш іонів Fe²⁺ та Fe³⁺ у співвідношенні 1:2. Суміш перемішували до насичення катіоніту іонами заліза. Після цього катіоніт обробляли 10% розчином гідроксиду натрію. Суміш перемішували до повного гідролізу іонів заліза з утворенням магнетиту в порах катіоніту. Процеси, реалізовані в цьому випадку, можна описати рівняннями



Також були проведені дослідження з отримання каталізаторів на основі катіонітів у процесі модифікування їх сполуками марганцю. З цієї метою катіоніт КУ-2-8 переводили в Mn²⁺ форму, після чого обробляли 1% розчином перманганату калію. Процес проходить за схемою:



Виклад основного матеріалу дослідження. При використанні модифікованого катіоніту сполуками марганцю для вилучення іонів марганцю з води в статичних умовах ефективність процесу була незначною. Ступінь очищення не перевищував 67% при вихідних концентраціях по іонах марганцю 1,5–30,0 мг/дм³. Кращі результати були отримані у процесі очищення води в статичних умовах під час перемішування та аерування (рис. 1).

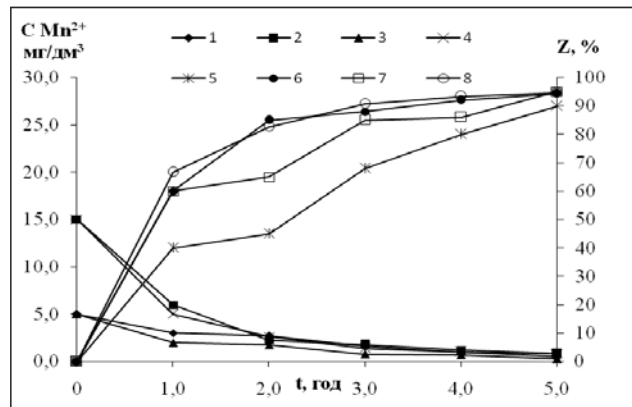
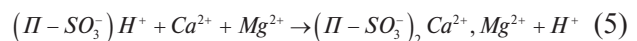


Рис. 1. Залежність залишкової концентрації та ступеню вилучення марганцю (II) у водопровідній воді при початкових значеннях концентрації марганцю мг/дм³: 5,0 (1; 3; 5; 7); 15,0 (2; 4; 6; 8) від часу контакту з модифікованим катіонітом КУ-2-8 в Mn²⁺ формі оброблений KMnO₄ при перемішуванні (1; 2; 5; 6) та аеруванні (3; 4; 7; 8)

Ступінь вилучення марганцю у разі перемішування чи аерування повітрям розчину сягав 90–95%. Очевидно, що лімітуючою стадією процесу є дифузія іонів марганцю до зерен іоніту, тому під час перемішування розчину або його аерації спостерігається суттєве прискорення процесу. Це пов'язано з підтриманням концентрації кисню на постійному рівні. Проте, якщо враховувати, що рН середовища знижувався після очищення води до 2,94–3,89, то можна говорити, що значною мірою на процес очищення води впливає іонний обмін:



Для запобігання підкислення рН середовища води під час очищення від іонів марганцю після модифікації сорбент обробляли розчином лугу для переведення іоніту в сольову форму (Na⁺). Результати представлені на рис. 2.

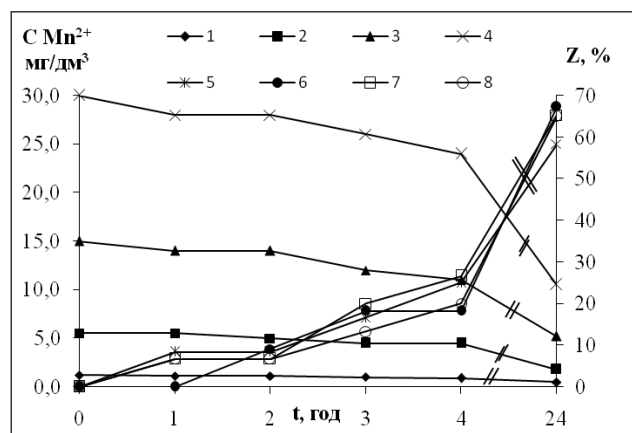


Рис. 2. Залежність залишкової концентрації та ступеню вилучення марганцю (II) у водопровідній воді при початкових значеннях концентрації марганцю мг/дм³: 1,6 (1; 5); 6,0 (2; 6); 16,0 (3; 7); 32,0 (4; 8) від часу контакту з модифікованим катіонітом КУ-2-8 в Н⁺→Mn²⁺ формі оброблений KMnO₄/NaOH

Як видно з графіків, ефективність очищення води від іонів марганцю(II) була такою ж, як і в попередньому випадку під час проведення процесу без перемішування. Але в цьому випадку рН середовища після очищення був на рівні 6,0–7,5. У всіх випадках найменша залишкова концентрація становила 0,5–0,75 мг/дм³.

У процесі використання модифікованого магнетитом катіоніту КУ-2-8 в статичних умовах для вилучення сполук марганцю з води було помічено певне зниження концентрації марганцю за 4 години. Ступінь очищення води не перевищував 30%. Взаємодія модифікованого катіоніту з розчинами іонів Mn^{2+} протягом 24 годин забезпечила очищення води від марганцю на 55–63%. При цьому модифікований катіоніт контактував із розчином без перемішування, що ускладнювало дифузію іонів марганцю до зерен іоніту.

Під час подачі повітря через пористий аератор для аерування і розчину з модифікованим катіонітом КУ-2-8 ступінь вилучення іонів марганцю із води значно зріс (рис. 3).

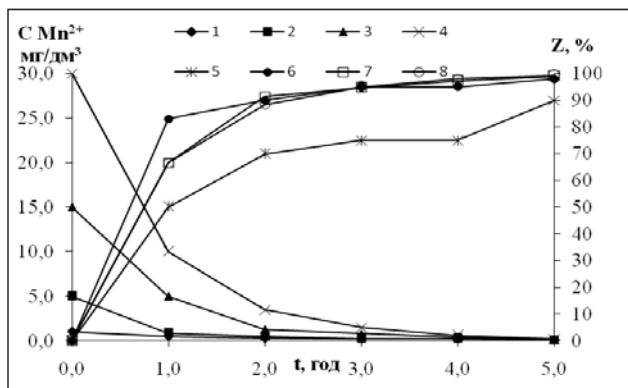


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації та ступеню вилучення марганцю (II) у водопровідній воді при початкових значеннях концентрації марганцю мг/дм³: 1 (1; 5); 5 (2; 6); 15 (3; 7); 30 (4; 8) від часу контакту з модифікованим магнетитом катіонітом КУ-2-8 та інтенсивності барботування повітря 0,5 дм³/дм³хв

За 5 годин обробки води ступінь очищення від іонів марганцю сягав 90–99% при вихідних концентраціях марганцю від 1 до 30 мг/дм³. При цьому залишкові концентрації марганцю становили 0,1–0,2 мг/дм³. Цілком ймовірно, що цей катіоніт у динамічних умовах забезпечить повне вилучення іонів марганцю(II) з води. Важливим аспектом процесу є те, що він проходить у нейтральному середовищі (рН=7,2–7,7).

Очищення води від іонів марганцю в динамічних умовах проводили під час фільтрування води через шар сорбенту обробленого магнетитом. Це

забезпечує постійний контакт розчину з іонообмінним матеріалом та знижує роль лімітуючого дифузійного фактора на процес очищення води. Відомо, що при модифікуванні катіоніту відповідно до реакцій 1 та 2 він переходить в Na^+ форму при утворенні в порах зерен іоніту магнетиту Fe_3O_4 . У процесі використання такого катіоніту можливе як окислення іонів марганцю на магнетиті, так і часткова їх сорбція на іоніті разом з іонами жорсткості. Результати очищення води від іонів марганцю(II) представлені на рис. 4.

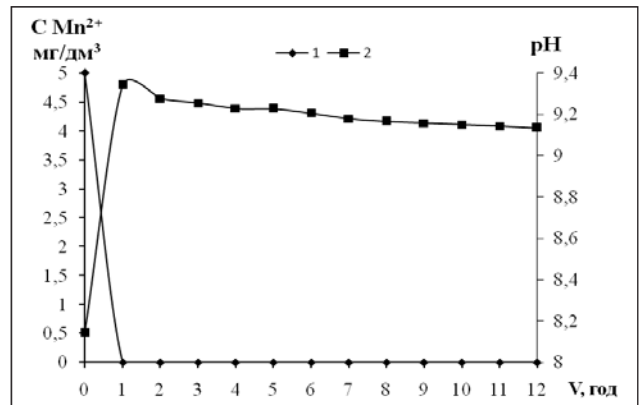


Рис. 4. Залежність концентрації марганцю (II) (1) та рН (2) середовища від об'єму пропущеної артезіанської води з початковим рН середовища 8,142(1) та концентрації марганцю 5,0 мг/дм³ (2) через катіоніт КУ-2-8, модифікований магнетитом в Na^+ формі

У процесі фільтрування розчину сульфату марганцю через катіоніт КУ-2-8 в Na^+ формі, модифікований магнетитом, було досягнуто повного вилучення іонів марганцю з розчину. Це відбувалося шляхом їх окислення на плівці магнетиту та, можливо, іонного обміну. рН розчину в процесі фільтрування зростав з 8,14 до 9,342, що було зумовлено обміном іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} на іони Na^+ . При цьому у воді головним чином утворювався гідрокарбонат натрію. Під час його гідролізу відбувається підлучення розчину. Підлучення води сприяє прискоренню процесу окислення іонів марганцю, але не є бажаним для питної води. Тому катіоніт після модифікування магнетитом обробляли 10% розчином хлориду кальцію. Результати використання модифікованого катіоніту в Ca^{2+} формі для очищення води від іонів марганцю(II) представлені на рис. 5.

В цьому випадку у процесі фільтрування води через модифікований катіоніт вона повністю очищувалась від іонів марганцю. При цьому рН середовища практично не змінювався і був у межах 8,2–8,45.

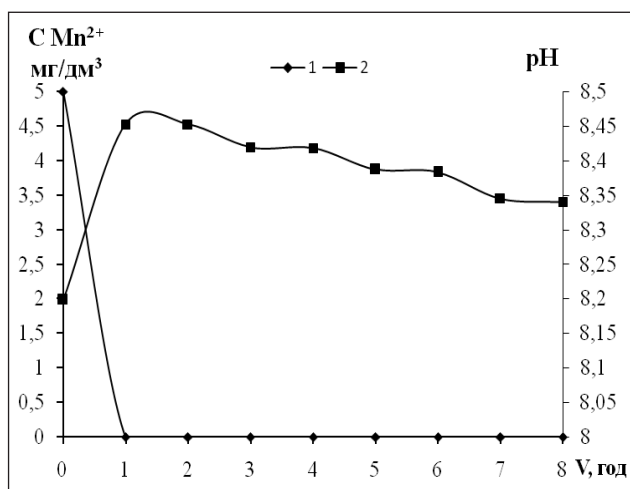


Рис. 5. Залежність концентрації марганцю (I) та рН (II) середовища від об'єму пропущеної артезіанської води з початковим рН середовища 8,198 та концентрацією марганцю 5,0 мг/дм³ через катіоніт КУ-2-8, модифікований магнетитом в Ca²⁺ формі

Можна сказати, що катіоніт, модифікований магнетитом у Ca²⁺ формі, забезпечує високу ефективність деманганізації води, не впливаючи на

рівень рН середовища та жорсткість води. Це фільтрувальне завантаження затримує й основну масу отриманого під час окиснення оксиду марганцю.

Висновки. Проведено дослідження застосування катіоніту КУ-2-8 модифікованого перманганатом калію або сполуками заліза з отриманням на його поверхні оксиду марганцю та магнетиту. Встановлено, що за статичних умов у процесі вилучення іонів марганцю з води найкращі результати були досягнуті при застосуванні сорбенту-катализатора модифікованого магнетитом. Застосування катіоніту, модифікованого магнетитом при додатковому керуванні, значно прискорило процес очищення води від сполук марганцю. Ступінь очищення за 5 годин обробки води сягав 90–99% при вихідних концентраціях марганцю 1–30 мг/дм³, при цьому залишкові концентрації марганцю були нижчими за 0,1 мг/дм³. У процесі застосування катіоніту, модифікованого магнетитом в Ca²⁺ формі, в динамічних умовах за початкової концентрації марганцю (II) 5 мг/дм³ було досягнуто повного його вилучення. рН очищеної води був у межах 8,2–8,5.

Список літератури:

1. Стан питної води в Україні. *Український Урядовий портал: веб-сайт*. URL: <http://labprice.ua/statti/stan-pitnoyi-vodi-v-ukrayini/>
2. Carolina C. F., Kumara P. S., Saravanana A., Joshibaa G. J., Naushad Mu. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2017. Vol. 5. P. 2782–2799.
3. Marsidi N., Abu Hasan H., & Sheikh Abdullah S. R. . A review of biological aerated filters for iron and manganese ions removal in water treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2018. Vol. 23. P. 1–12.
4. Назаров В.Д., Назаров М.В., Разумов В.Ю., Дрєміна М.А., Осипова А.А. Очистка природных вод от железа и марганца *Градостроительство и архитектура*. 2017. Т. 7. № 4 (29). С. 54–59.
5. Aziz H.A. Smith P.G. Removal of manganese from water using crushed dolomite filtration technique. *Wat. Res.* 1996. Vol. 30. № 2. P. 489–492.
6. Aziz H.A., Yusoff M.S., Adlan M.N. Physico-chemical removal of iron from semi-aerobic landfill leachate by limestone filter. *Waste Management*. 2004. Vol. 24. P. 353–358.
7. Калюкова Е.Н. Иванская Н.Н. Деманганация водных растворов природным сорбентом. *Вестник Башкирского университета*. 2009. Т. 14. № 4. С. 1340–1342.
8. Masoudinejad M. and Khashij M. Absorption isotherm study of Mn²⁺ on MnO₂ and feo-coated zeolite from aqueous solution. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2014. Vol. 72. P. 63–72.
9. Спосіб одержання завантаження для очищення води від сполук марганцю: пат. 93087 Україна: МПК B01J 20/02, CO2F 1/64. № а 2013 12946; заявл. 07.11.2013; опубл. 25.09.2014, Бюл. № 14.
10. Анисимова Н.Ю., Сенатов Ф.С., Миляева С.И., Киселевский М.В. Исследование сорбционных свойств ферромагнитных наночастиц. *Фундаментальные исследования*. 2011. № 11. С. 263–265.
11. Xie L. et al. Application of functionalized magnetic nanoparticles. *Anal. Bioanal. Chem.* 2014. № 406. P. 377–399.
12. Твердохліб М.М., Гомеля М.Д. Дослідження ефективності знезалізнення води в присутності магнетиту та модифікованої магнетитом смоли. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Київ : КНУБА*. 2017. Вип. 28. С. 324–332.

СОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ СОЕДИНЕНИЙ МАРГАНЦА

В статье представлены результаты исследований по очистке воды от соединений марганца с применением сорбентов-катализаторов, модифицированных соединениями железа и марганца. Установлено, что в статических и динамических условиях полного извлечения ионов марганца можно достичь с применением сорбентов на основе полимерной смолы и магнетита.

Ключевые слова: ионы марганца, магнетит, сорбент, катализатор, катионит.

SORPTION-CATALYTIC OF WATER PURIFICATION FROM MANGANESE COMPOUNDS

The article presents the results of the study of water purification from manganese compounds using sorbent catalysts modified by iron and manganese compounds. It has been shown that under static and dynamic conditions, complete removal of manganese ions can be achieved using sorbents based on polymer resin and magnetite.

Key words: ions of manganese, magnetite, sorbent, catalyst, cation exchange resin.

Фролова Л.А.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ФЕРИТУ КУПРУМУ ПЛАЗМОВИМ МЕТОДОМ

Плазмовим методом синтезований ферит купруму. Проведено порівняльний аналіз рН-статичного та рН-динамічного режиму одержання фериту купруму. Досліджено кінетику процесів. Показано, що використання плазмової технології дає змогу отримувати ферити купруму. Встановлено, що використання рН-статичного методу приводить до утворення немагнітних фаз. Використання рН-динамічного режиму при рН=11 приводить до отримання магнітного фериту купруму з намагніченістю насичення 103,3 А м²/кг і коерцитивної сили 25 Ерстед.

Ключові слова: шпінель, ферит міді, кінетика, магнітні характеристики.

Полікристалічні м'які ферити є магнітними матеріалами, які стабільні, порівняно недорогі, легко виготовляються і мають широке застосування в електроніці, радіоелектроніці, каталізі, медицині. Успішне їх використання в цих галузях вимагає наявність відповідних електричних та магнітних властивостей, які зумовлені, перш за все, структурою [1]. Оскільки шпінельні ферити є важливим класом феримагнітних матеріалів, вони широко вивчаються упродовж багатьох років. З'явилося багато різноманітних методів синтезу, як-от мікроемульсійний, співосадження, золь-гель, гідротермальний, сонохімічний, що дають змогу одержувати ферити за низьких температур [2–7]. Крім того, розробка нових методів синтезу CuFe_2O_4 набуває великого значення через його високу електричну провідність, високу термостійкість і високу каталітичну активність. Ферити купруму стали важливими матеріалами протягом останніх років завдяки можливості їх застосування як газових сенсорів, каталізаторів у літій-іонних батареях, записуючих пристроях високої щільності, ферорідинах [8–10].

Запропонований плазмовий метод має низку переваг: короткотривалість, чистота продукту, простота, енергоефективність і дисперсність кінцевого продукту.

Відомо, що CuFe_2O_4 існує в тетрагональній і кубічній структурах. Тетрагональна структура фериту купруму має обернену структуру шпінелі майже з усіма іонами Cu^{2+} в октаедричних підгратках, а іони Fe^{3+} поділяються між тетраедричною і октаедричною підгратками [11–12]. Кубічна структура має більший магнітний момент, ніж у тетрагонального, тому що там більше іонів міді Cu^{2+} в тетраедричних позиціях порівняно з таким у разі тетрагональної структури.

Таким чином, дослідження впливу умов синтезу фериту купруму потрібне для розуміння зв'язку між структурою, гетерогенністю і фізичними властивостями.

Методика проведення експерименту

Наночастинки CuFe_2O_4 отримували методом хімічного осадження з водного розчину ферум(II) сульфату та купрум(II) сульфату, методом, що детально описаний у роботі «The Effect of Contact Non-equilibrium Plasma on Structural and Magnetic Properties of $\text{MnXFe}_3\text{-XO}_4$ Spinels» [5].

Суспензії, що аналізувались під час проведення експерименту, оброблялись у реакторі під дією плазмового розряду протягом сорока хвилин. Кожні дві хвилини вимірювалось змінення показника рН та потенціалу. За отриманими даними для кожної групи розчинів було побудовано графіки залежності рН – час обробки та потенціал – час обробки, які наведені нижче.

Перша серія розчинів оброблялась та аналізувалась при постійному співвідношенні міді до феруму як у фериті та діапазоні рН=7-12.

Зразки другої серії оброблялись за умов, аналогічних першій серії, але відмінність полягала в тому, що кожні дві хвилини активування розчину значення показника рН знову доводилося до свого вихідного значення. Для цього використовувалася 0,4н розчин лугу, який додавався по краплях при постійному перемішуванні.

Рентгенофазовий аналіз зразків проводився на дифрактометрі ДРОН-2. Режим роботи джерела рентгенівського випромінювання 40 кВ, 30 мА. Діапазон кутів сканування 2θ : від 10 до 90°, крок сканування – 0,0001. Магнітні характеристики визначались за допомогою вібраційного магнітометра.

Результати експериментальних досліджень

На рисунках 1 та 2 представлено залежності рН та потенціалу від часу обробки. Спостерігається падіння рН при вихідному рН 7 та 8, при вихідному рН 9-12 можна побачити його стрімке падіння до 20 хвилини активування (це відповідає середині часу активування) та його подальше зростання і встановлення на постійному рівні. При цьому потенціал скачкоподібно зростає. Падіння рН та зростання потенціалу свідчить про проходження процесу окиснення сполук феруму(II) до ферум(III). Зростання значення потенціалу може свідчити про утворення різноманітних окисневмісних сполук купруму та феруму в оброблюваній суспензії, оскільки ці метали мають кілька ступенів окиснення. Постійне значення рН наприкінці активування відповідає встановленню рівноваги.

Для аналізу ступеня перетворення реакції була визначена залишкова концентрація катіонів купруму та феруму, тобто концентрація катіонів у фільтраті, після обробки у плазмохімічному реакторі при різних показниках величини рН.

За отриманими результатами побудовано також графік залежності ступеня перетворення від величини рН (рис. 3).

Іонів феруму та купруму в аналізованих розчинах не виявлено. Згідно з розрахованими показниками ступеня перетворення для кожного розчину з різними показниками рН можна зробити висновок, що найбільш сприятливим є рН=11 та рН=12. Ступінь перетворення при цьому становить 100%.

Показник рН можна розглядати як величину, що характеризує процес окиснення. Тому зразки другої серії оброблялись при постійному початковому рН. рН середовища після його вимірювання знову доводився до свого вихідного значення. Таким чином, можна вважати, що об'єм доданого лугу характеризує швидкість процесу окиснення.

У процесі експерименту було встановлено, що на кривій зміни рН та окислювально-відновного потенціалу в процесі окислення спостерігаються характерні екстремуми (рис. 4). При цьому перший відповідає початку утворення проміжного продукту, другий – формуванню кінцевого продукту. Інтервал часу між цими екстремумами – час перетворення проміжного продукту на кінцевий продукт реакції може служити кінетичною характеристикою процесу перетворення проміжного продукту. Закінченням процесу окислення

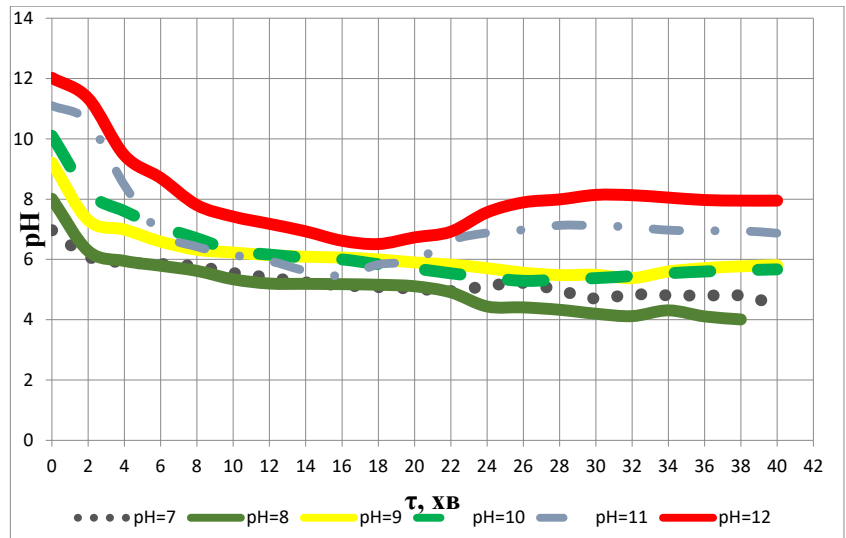


Рис. 1. Графік залежності рН від часу для першої серії зразків

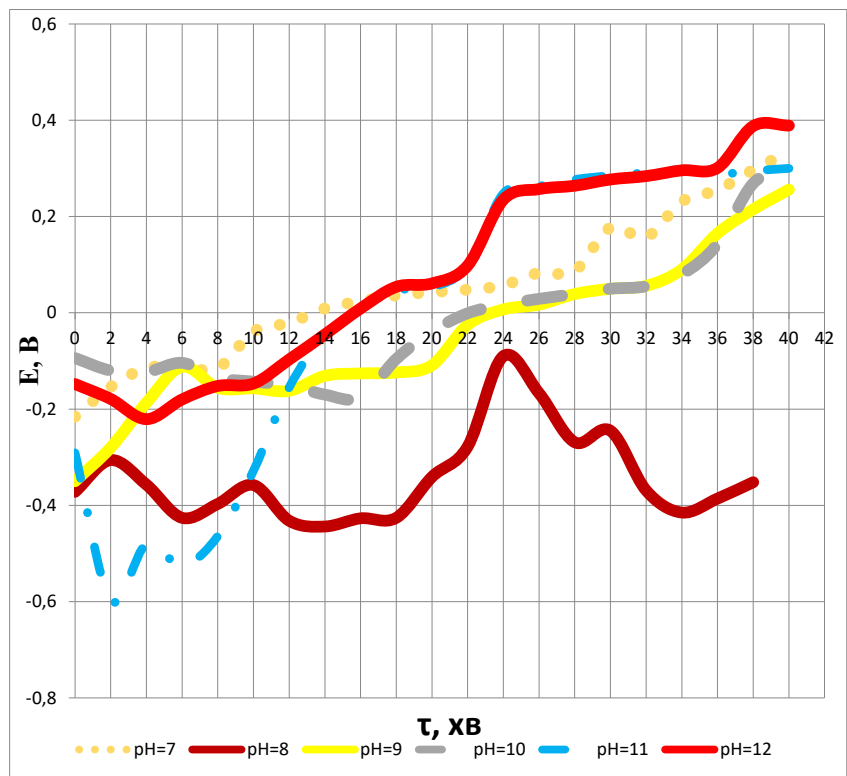


Рис. 2. Залежність потенціалу від часу для першої серії зразків

є реєстрація стрибка потенціалу. Для опису кінетики процесу також використовували об'єм поглиненого луку. Залежність значення об'єму поглиненого луку від початкового рН має екстремальний характер (рис. 5), причому одночасно з ростом амплітудних значень $V_{\text{луку}}$ максимуми кривих переміщуються по осі часу ліворуч. Останнє можна пояснити тим, що на певному етапі процесу перетворення проміжних продуктів кількість вільних катіонів H^+ значна і в цій області швидкість поглинання луку максимальна. Відповідно, зсув максимумів на кривій $V=f(t)$ вліво зі збільшенням значення рН відображає збільшення швидкості перетворення проміжних продуктів

Як видно з графіків, до певного часу рН повільно зменшується. Потім він починає зростати. Зі збільшенням рН вихідного розчину зменшується проміжок часу, коли рН зменшується. Так, при вихідному рН=7 він перестає зменшуватись на 24-й хвилині активування, при рН=8 – на 18-й хвилині, при рН=9 – на 16-й, при рН=10 – на 14-й, при рН=12 – на 12-й і тільки при рН=11 він перестає спадати лише на 24-й хвилині активування. Відповідно, з кожними наступними двома хвилинами активування необхідний об'єм луку для доведення рН до його вихідного значення зменшується. Ця величина в середньому зменшується від 2 мл до 0,1 мл. Потенціал при цьому стрибкоподібно зростає. Лише за умови рН=8 спостерігаються великі стрибки та зменшення потенціалу.

Тобто усі три показники змінюються зі стрибками різної величини. Але загалом можна спостерігати таку тенденцію: приблизно на 16–18-й хвилині рН перестає знижуватись і починає зростати, потенціал також зростає з великими стрибками. Об'єм луку стрімко зменшується, але в деяких точках спостерігаються стрибки, які, відповідно, зумовлені стрибками рН.

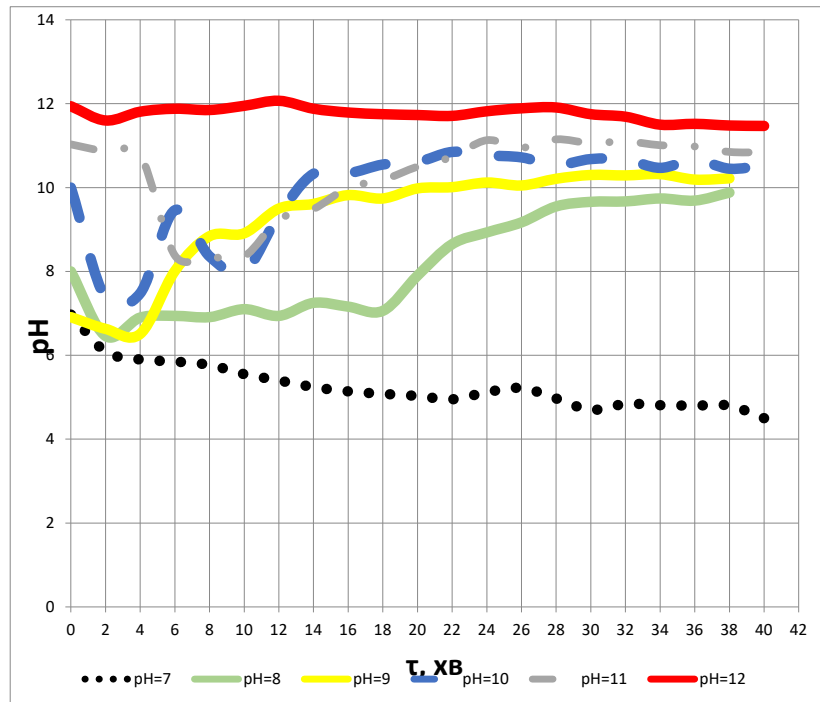


Рис. 3. Графік залежності ступеня перетворення аналізованого розчину від величини рН

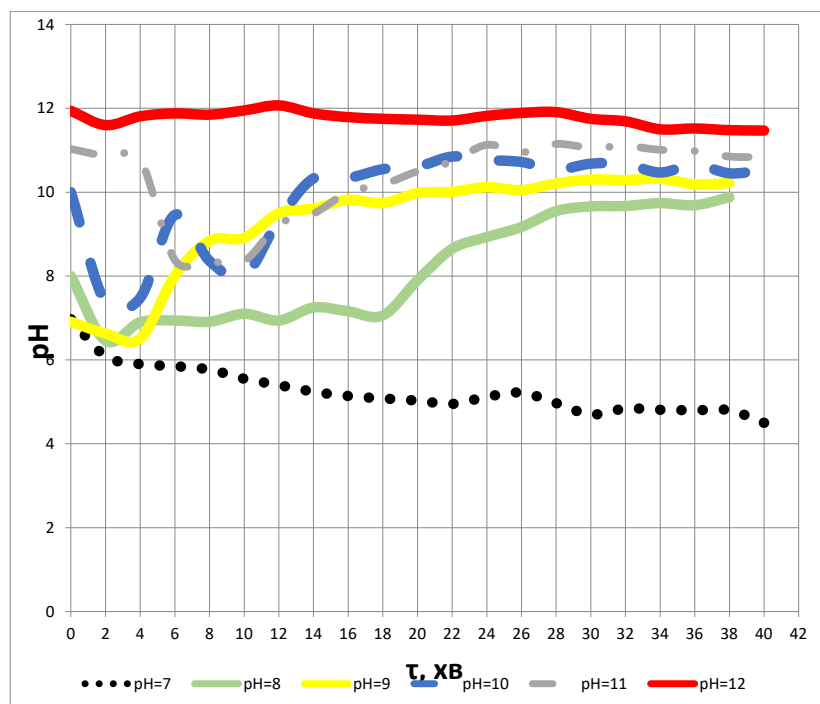


Рис. 4. Графік залежності рН від часу для другої серії зразків

Варто зазначити, що ступінь перетворення при такому виді обробки становив 100% в усіх випадках.

З огляду на ці графіки можна зробити припущення про можливий механізм реакцій, що перебігають під час обробки зразків у плазмо-хімічному реакторі. Кожен із піків на графіку

відповідає перебігу певного процесу. Можна припустити, що процес відбувається в дві стадії, що відбиваються у вигляді двох піків на рис. 5.

До найбільш важливих магнітних характеристик феромагнітного матеріалу можна зарахувати криву намагнічування та петлю гістерезису. З цих залежностей можна визначити основні магнітні параметри магнетиків: індукція, намагніченість, коерцитивна сила, магнітна проникність, магнітна анізотропія та інші. Вигляд кривої намагніченості та петлі гістерезису визначаються магнітною структурою матеріалу, а саме наявністю доменів, взаємодії між ними та їхньою рухливістю, а також магнітними властивостями окремих атомів та молекул. Відповідні петлі оброблялись, узагальнені результати досліджень наведені на рис. 6, 7.

Значення коерцитивної сили та магнітного насичення визначається фазовим складом сполук, які утворюються. В діапазоні зміни рН від 7 до 9 утворюються немагнітні складні оксиди та оксигідрооксиди Fe-Cu, це зумовлено високою швидкістю процесів (рис. 5). У разі підвищення вихідного рН кінцевим продуктом є ферит купруму, який має магнітні властивості.

Збільшення рН до 12 призводить до зниження магнітного насичення за рахунок утворення змішаної оксидно-феритної фази також шляхом прискорення процесу окислення. Тобто залежність швидкості реакції окиснення має екстремальний характер.

Висновки. Дуже перспективним є використання нових технологій одержання феритів

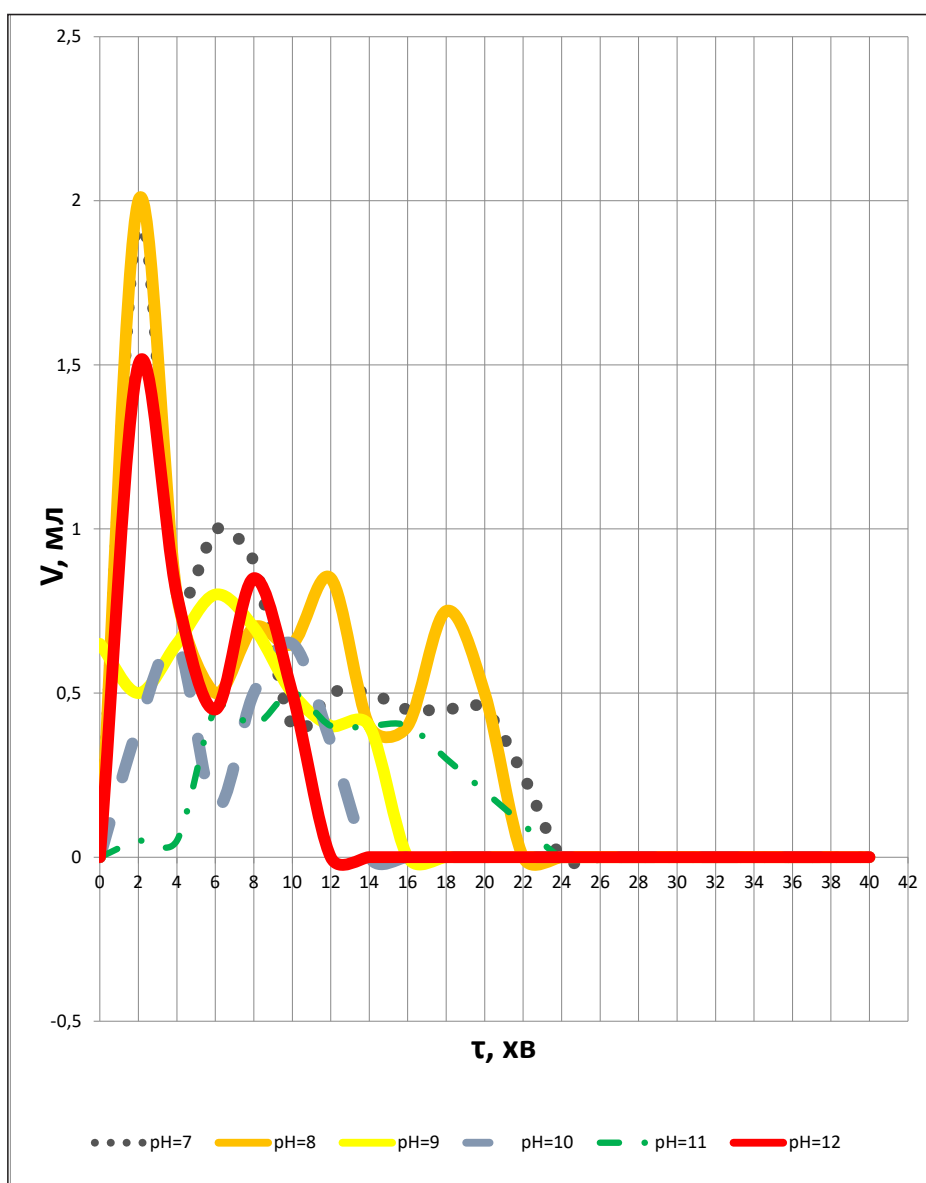


Рис. 5. Графік залежності об'єму лугу від часу для другої серії зразків

купруму. Метод одержання фериту купруму за допомогою нерівноважної контактної плазми може дозволити досягти доволі високого ступеню перетворення. Аналізуючи отримані результати, можна зробити такі висновки:

1. всі отримані осади мають магнітні властивості. Найбільш магнітним є зразок із вихідним рН=11;

2. оптимальним для забезпечення фериту купруму з високими магнітними характеристиками є рН=11;

3. у разі поступового додавання до суспензії лугу, навіть за низького вихідного показника рН, залишкові концентрації катіонів феруму та купруму практично дорівнюють нулю, але магнітні показники значно нижчі, ніж у рН динамічному режимі.

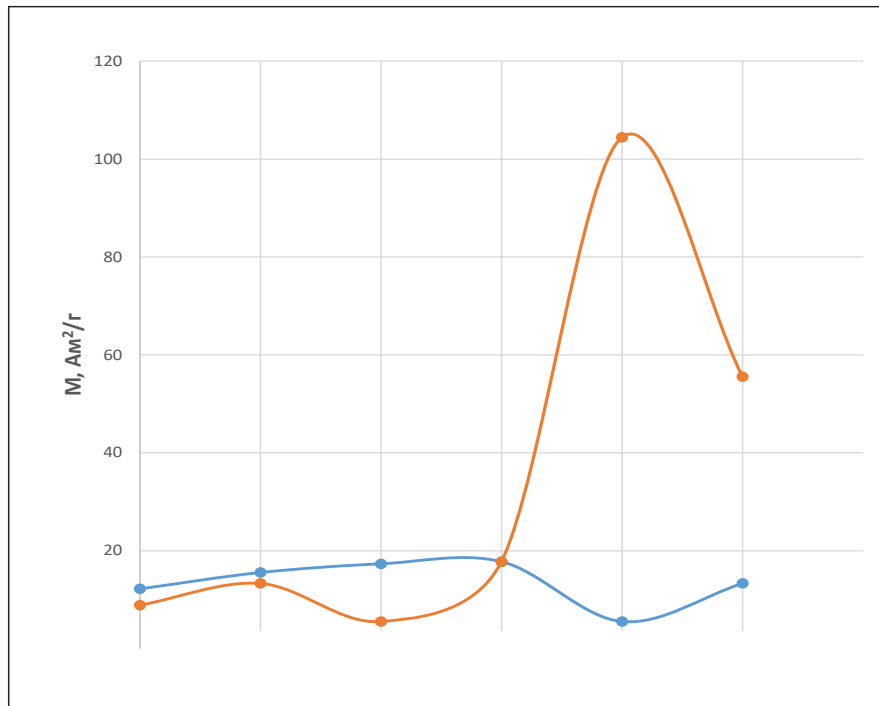


Рис. 6. Залежність магнітного насичення від рН для першої (1) та другої серії (2) дослідів

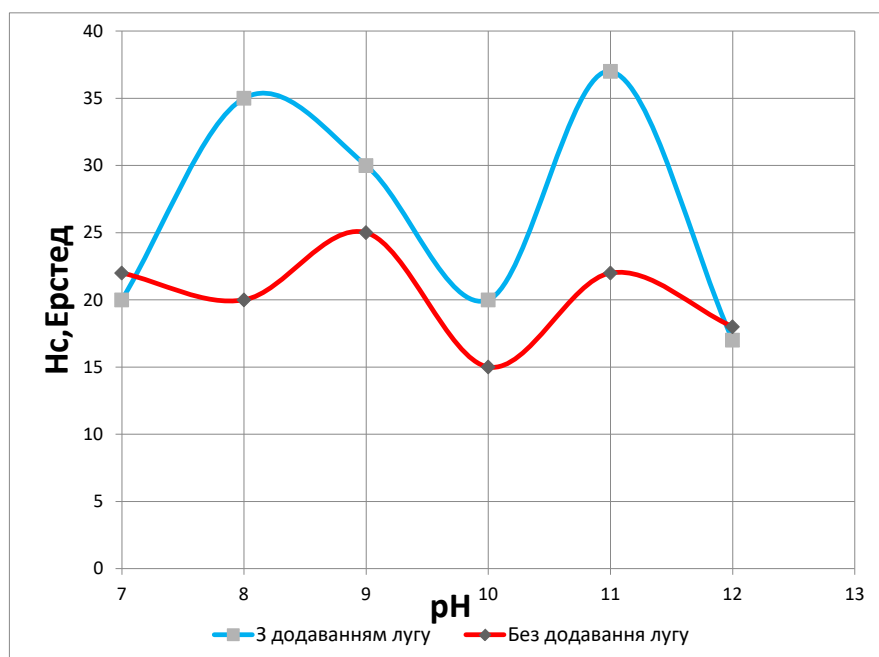


Рис. 7. Залежність коерцитивної сили від рН для першої та другої серій дослідів

Список літератури:

1. Nanba N., Kobayashi S. Semiconductive Properties and Cation Distribution of Copper Ferrites $\text{Cu}_{1-\delta}\text{Fe}_{2+\delta}\text{O}_4$. *Japanese Journal of Applied Physics*. 1978. № 17(10). P. 1819.
2. Thanh N.K. et al. Structural and magnetic characterization of copper ferrites prepared by using spray co-precipitation method. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2016. № 16(8). P. 7949–7954.
3. Ahamad H.S. et al. Synthesis and Characterization of Nanostructure Copper Ferrites by Microwave Assisted Sol-Gel Auto-Combustion Method. *Int. J. Lumin. Appl.* 2016. №6. P. 135–138.
4. Muthukumar, Krishnan et al. Solvothermal synthesis of magnetic copper ferrite nano sheet and its antimicrobial studies. *Materials Chemistry and Physics*. 2018. № 209. P. 172–179.
5. Frolova L.A., Derhachov M.P. The Effect of Contact Non-equilibrium Plasma on Structural and Magnetic Properties of $\text{Mn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ Spinels. *Nanoscale research letters*. 2017. № 12(1). P. 505–517.
6. Agouriane E., et al. Structural and magnetic properties of CuFe_2O_4 ferrite nanoparticles synthesized by co-precipitation. *J. Mater. Environ. Sci.* 2016. № 7(11). P. 4116–4120.
7. Mindru, I. et al. Chromium substituted copper ferrites via gluconate precursor route. *Ceramics International*, 2015. 41 (4), P. 5318–5330.
8. Rocha A.K.S. et al. Copper ferrite synthesis from spent Li-ion batteries for multifunctional application as catalyst in photo Fenton process and as electrochemical pseudocapacitor. *Materials Research Bulletin*, 2019. 113, P. 231–240.
9. Ghani A.A., Mazen S.A., Ashour A.H. The annealing effect on the conduction mechanism of copper ferrite. *Physica Status Solidi (A)*. 1984. № 84(1). P. 337–341.
10. Elsayed E.M. et al. Synthesis of Nanocrystalline Copper Ferrites by Electrochemical Techniques for Toxic Gas Sensing, Li Ion Battery and Medical Applications. *Renewable Energy and Sustainable Development*. 2017. № 3(3). P. 267–276.
11. Zakiyah L.B. et al. Up-scalable synthesis of size-controlled copper ferrite nanocrystals by thermal treatment method. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2015. № 40. P. 564–569.
12. Hegazy E.Z. et al. New insights about the formation of copper ferrite: in situ X-ray diffraction study. *Bulletin of the National Research Centre*. 2018. № 42(1). P. 9.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
ФЕРРИТА МЕДИ ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ**

Плазменным методом синтезирован феррит меди. Проведен сравнительный анализ pH-статического и pH-динамического режима получения феррита меди. Исследована кинетика процессов. Показано, что использование плазменной технологии позволяет получать ферриты меди. Установлено, что использование pH-статического метода приводит к образованию немагнитных фаз. Использование pH-динамического режима при pH=11 приводит к получению магнитного феррита меди с намагниченностью насыщения $103,3 \text{ A m}^2/\text{kg}$ и коэрцитивной силы 25 Эрстед.

Ключевые слова: шпинель, феррит меди, кинетика, магнитные характеристики.

**INVESTIGATION OF THE PROCESS PRODUCTION
OF COPPER FERRITE BY PLASMA METHOD**

The plasma method synthesized copper ferrite. A comparative analysis of the pH-static and pH-dynamic method for the production of copper ferrite has been carried out. The kinetics of processes is studied. It has been shown that the use of plasma technology allows copper ferrites to be obtained. It has been established that using the pH of the static method leads to the formation of non-magnetic phases. The use of the pH-dynamic regime at pH=11 leads to the production of a magnetic ferrite of copper with a saturation magnetization of 103.3 Emu/kg and a coercive force of 25 Oe.

Key words: spinel, copper ferrite, kinetics, magnetic characteristics.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.1-663

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/10>**Бажай-Жежерун С.А.**

Національний університет харчових технологій

Берега-Кіндзерська Л.В.

Національний університет харчових технологій

Солодко Л.М.

Національний університет харчових технологій

Тогачинська О.В.

Національний університет харчових технологій

ВИКОРИСТАННЯ ФІТОЕКСТРАКТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ЗЕРНА

Науково обґрунтовано доцільність застосування фітоекстрактів для підвищення вмісту біологічно активних речовин у процесі пророщування зерна. Визначено вплив екстрактів широкоживаних овочів – часнику, цибулі, кропу та лікарських рослин – ромашки, шавлії, череди на показники фізіологічної повноцінності зерна пшениці. Досліджено вплив зазначених рослинних екстрактів на зміну вмісту вітамінів у процесі пророщування зерна. Визначено мікробіологічні показники пророщеного зерна. Розроблено технологію оздоровчих продуктів на основі біологічно активованого зерна пшениці з використанням фітоекстрактів.

Ключові слова: біологічне активування, зерно, пшениця, фітоекстракти, вітаміни, харчова цінність, оздоровчі продукти.

Постановка проблеми. Збереження і зміцнення здоров'я людей – основне завдання кожної цивілізованої держави. Одним з пріоритетних завдань харчової промисловості України є створення принципово нових технологій комплексного перероблення сільськогосподарської сировини з метою отримання продуктів високої якості, які мають оздоровчий та лікувально-профілактичний вплив на організм людини, сприяють ліквідації дефіциту мікронутрієнтів, зокрема вітамінів та мінеральних сполук тощо.

Зернова сировина є незамінним складником функціональних харчових продуктів, оскільки, окрім енергогенних речовин, є цінним джерелом біологічно активних компонентів – вітамінів, харчових волокон, глюканів, фенольних сполук, мінеральних речовин, які здатні позитивно впливати на зміцнення здоров'я. За рахунок використання в їжу зернових продуктів покривається до 40% потреби у вітамінах групи В та до 50% енергетичної потреби людини. В Україні частка зернових становить 40–45% загального раціону

харчування. Тому розроблення методів підготовки зернової сировини для підвищення її харчової цінності та розширення асортименту продуктів оздоровчого спрямування на основі зерна є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що у процесі проростання зерна та насіння синтезується значна кількість важливих мікронутрієнтів, зокрема вітамінів, що значно підвищує біологічну цінність цієї сировини [1, с. 165]. Пророщене зерно можна розглядати як нове джерело природних антиоксидантів для дієтичних потреб [2, с. 182].

З метою підвищення ефективності проростання зерна та насіння часто застосовують його передпосівне оброблення як синтетичними речовинами, так і природними біологічно активними сполуками – ауксинами, гуміновими і фульвокислотами, розчином сахарози [3, с. 497].

Показано ефективність використання органічних кислот для отримання пророщеного зерна високої якості в більш короткі строки. Відзначено,

що водні розчини бурштинової, нікотинової, фолієвої, аскорбінової, лимонної, яблучної, виноградної кислот та їх сумішей підвищують енергію та здатність проростання на 3–15%, при цьому фізико-хімічні та органолептичні показники якості зерна перебувають у межах норми [4, с. 246].

Для стимулювання процесу пророщування зерна науковці пропонують застосування активованої води, яка є кластерною структурою після плазмової обробки. Активована вода має дезінфікуючий ефект, а також прискорює цілий комплекс хімічних та біологічних перетворень у зерновому матеріалі; підвищує динаміку пророщування зерна, схожість та енергію проростання [5, с. 87].

Відомо, що фенольні сполуки, зокрема халкони, мають широкий спектр біологічної активності, включаючи потужну антиоксидантну, антибактеріальну, протигрибкову активність, протипухлинний ефект. Автори S.S. Mokle, Y.B. Vibhute зазначають, що ці речовини є регуляторами росту рослин. Ними досліджено, що халкони і флавоноїди сприяють проростанню зерна пшениці [6, с. 146–149].

Для збільшення кількості біологічно активних речовин зерна у процесі проростання використовують певні водні екстракти, розчини мінеральних солей, кислот тощо. Так, для підвищення харчової цінності зерна під час пророщування науковці пропонують обробляти його розчинами сорбінової кислоти, морської солі, сульфату заліза [7, с. 107; 8, с. 2–4; 9, с. 22–23].

Досліджено, що водні екстракти з *Aspergillus spiciventis* інгібують фізіологічні показники проростання зерна тритикале – енергію та здатність проростання [10, с. 128–130].

Науковцями запропоновано використання у процесі пророщування зерна розчинів мінеральних солей цинку, кобальту, молібдену, мангану, міді та селену для отримання високомінералізованої зернової основи зі збагаченим мікроелементним складом [11, с. 11; 12, с. 112].

У літературі відсутні дані щодо дослідження впливу рослинних екстрактів на зміну вмісту вітамінів у зерні пшениці під час пророщування.

Формулювання цілей статті. Розроблення нових методів підготовки сировини, які сприяють підвищенню її харчової та біологічної цінності, є актуальним завданням технологів харчової промисловості.

Метою нашої роботи є обґрунтування доцільності застосування водних екстра-

ктів рослин, які містять фітонциди, для інтенсифікації накопичення вітамінів у процесі пророщування зерна.

Виклад основного матеріалу. Використовували зерно озимої пшениці сорту Поліський еліта урожаю 2018 р., яке відповідає ДСТУ 3768.

Водні екстракти готували з овочевої сировини (часнику, цибулі, кропу) та лікарських рослин (ромашки, череди, шавлії). Початкові концентрації екстрактів вибрано відповідно близькими до рекомендацій застосування їх у лікувальних цілях, потім у процесі експериментів концентрації екстрактів знижували до досягнення хороших показників проростання зерна.

Зерно пшениці очищене, відсортоване, промивали і продезінфіковане обробляли екстрактами часнику, цибулі, кропу, ромашки, череди, шавлії. Процес проводили за температури 12–18°C у три цикли, кожен з яких включав інтенсивне зволоження зерна екстрактами протягом 4 год. з наступним відволоженням протягом 4–6 год. загальною тривалістю 28–30 год.

Оскільки енергія та здатність проростання є визначальними показниками фізіологічної повноцінності зерна пшениці у процесі його пророщування, вважали за доцільне перевірити вплив екстрактів на зміну цих показників.

Дослідження впливу екстрактів часнику, цибулі і кропу різних концентрацій показало, що енергія проростання за високих концентрацій деякою мірою погіршується. Результати досліджень наведено на рис. 1.

Відзначено, що за концентрації екстрактів до 15 г/дм³ зміна показників проростання зерна перебуває в межах похибки досліду. За концентрації

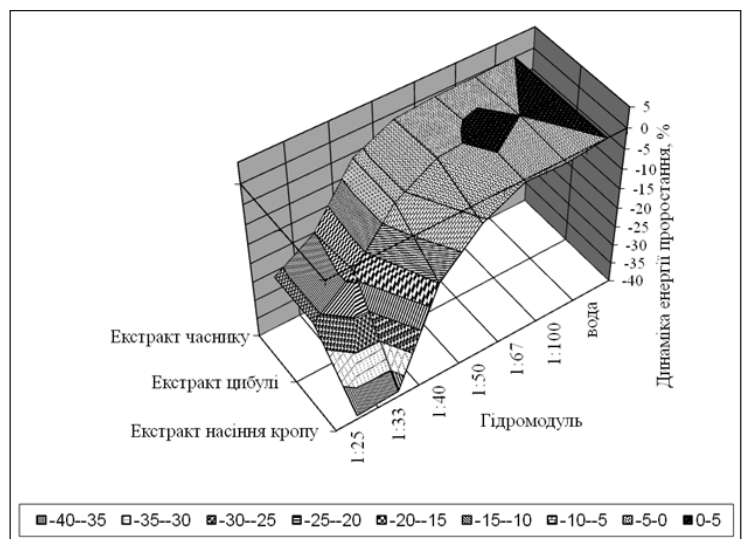


Рис. 1. Динаміка енергії проростання зерна, обробленого екстрактами овочевої сировини

Вміст вітамінів у зерні, пророщеному з використанням екстрактів овочевої сировини

№	Концентрація екстракту, г/л	Екстракт часнику				Екстракт цибулі				Екстракт насіння кропу			
		Вміст вітамінів, мг %											
		Е	С	В ₃	В ₄	Е	С	В ₃	В ₄	Е	С	В ₃	В ₄
1	0	14,3	6,8	4,3	153,0	14,3	6,8	4,3	153,0	14,3	6,8	4,3	153,0
2	10	13,8	13,5	4,7	162,5	12,9	15,5	4,5	157,2	19,5	13,8	4,5	162,5
3	15	18,0	16,2	5,2	174,5	17,8	16,3	4,9	167,0	16,8	13,2	5,1	160,5
4	20	23,4	17,0	5,2	180,0	22,1	16,8	4,9	175,0	9,6	10,0	5,0	140,5
5	25	18,4	14,8	5,0	176,0	18,2	15,5	4,1	169,0	7,4	8,5	4,0	135,0
6	30	10,2	6,0	4,1	146,0	11,8	10,6	3,5	140,5	6,2	7,6	3,2	110,0
7	40	4,8	3,2	3,5	125,0	6,0	5,6	3,0	126,0	6,0	7,0	2,8	100,0

екстрактів 20 г/дм³ спостерігається значне зниження для зерна, замоченого у екстрактах насіння кропу, а за концентрації більше, ніж 20 г/дм³, зниження показників проростання характерне для всіх згаданих вище екстрактів.

Задовільні значення енергії проростання та здатності проростання зерна, обробленого екстрактами лікарських рослин ромашки та череди, було отримано за концентрації екстрактів цих рослин 10–15 г/л. Значення аналізованих показників фізіологічної повноцінності зерна перебувало у межах 90–95%. За вищих концентрацій показники різко знижувались, їхні значення не перевищували 50%, що є недопустимим для пророщування зерна. Пророщування зерна з використанням екстрактів шавлії показало, що навіть незначні концентрації інгібували показники фізіологічної повноцінності зерна.

Відомо, що флавонові глікозиди, зокрема жовті пігменти, блокують дихальні ферменти зерна, тобто знижують його дихальну здатність, пригнічують проростання. Лікарські рослини, зокрема шавлія, череда, у меншій кількості ромашка, містять такі глікозиди [13, с. 186], тому оброблення зерна екстрактами зазначених рослин пригнічує процес проростання, отже, використання подібних рослин є недоцільним.

Нашими попередніми дослідженнями було встановлено, що під час пророщування зерна за холодних режимів протягом 28–30 год. суттєво зростає вміст водорозчинних та жиророзчинних вітамінів, вітаміноподібних речовин, зокрема речовин з Р-вітамінною активністю, інозиту, порівняно з зерном нативним [14, с. 479]. Швидкість утворення вітамінів була висока на початку пророщування (до величини ростка 1 мм), а надалі цей процес уповільнювався. Це можна було пояснити як уповільненням біохімічних процесів синтезу, так і використанням їх мікрофлорою, що розвивається на поверхні зерна під час його пророщування.

Фітонциди, що містяться у деяких овочах, зокрема в часнику, цибулі і кропі, мають бактерицидні та фунгіцидні властивості [13, с. 208]. Таким чином, можна очікувати інтенсивніше підвищення вмісту вітамінів за умови оброблення зерна екстрактами перелічених рослин. Результати досліджень впливу фітоекстрактів на вміст вітамінів-антиоксидантів та деяких вітамінів групи В у пророщеному зерні наведено у табл. 1.

Відзначено суттєве підвищення вмісту вітамінів-антиоксидантів Е і С, а також нікотинової кислоти та холіну у зерні під час його пророщування з використанням екстрактів часнику, цибулі і насіння кропу. Для інших вітамінів групи В, зокрема В₁, В₂, В₆, В₉, відзначено також зміну вмісту у межах 2–6%.

З огляду на те, що максимально нейтральний вплив на показники проростання зерна мали екстракти лікарських трав, у середньому концентрації 15 г/дм³, визначення вмісту вітамінів проводили лише за цього значення концентрації. Встановлено, що екстракти ромашки підвищували вміст вітаміну Е на 16,1%, а вітаміну С – на 64,7%, відзначено незначне підвищення вмісту вітамінів групи В, зокрема холіну (близько 1%), а екстракти череди знижували вміст вітаміну Е на 16,1%, а вітаміну С – на 7,4%, вміст вітамінів групи В знижувався у середньому на 5%. Екстракти шавлії значно пригнічували проростання зерна, тому визначення вітамінів не проводили.

Очевидно, екстракти часнику та цибулі, які містять значну кількість фітонцидів, аліцин, підвищують метаболічний потенціал зерна, зокрема активізують певні ферментні системи, що прискорює синтез деяких вітамінів.

Якість харчових продуктів визначається органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками. Великий вплив на якість продуктів мають технологічні параметри обробки сировини та її початкова якість. Визначення впливу фітодобавок на ріст мікроорганізмів, які

Мікробіологічні показники зерна

Зразок	Мікробіологічні показники		
	МАФАНМ, КУО/г, не більше	Плісняві гриби, КУО/г, не більше	Патогенні мікроорганізми, у т.ч. сальмонели в 25 г
Зерно пшениці, пророщене з використанням			
води	$6 \cdot 10^2$	35	Не виявлено
екстракту часнику	$2 \cdot 10^2$	16	Не виявлено
екстракту цибулі	$3 \cdot 10^2$	20	Не виявлено
екстракту насіння кропу	$3 \cdot 10^2$	25	Не виявлено
Зерно пшениці нативне	$5 \cdot 10^2$	30	Не виявлено
Зернові крупи, нормативне значення	$5 \cdot 10^3$	50	Не допускаються

розвиваються під час пророщування зерна, є актуальною проблемою як для визначення режимів теплової обробки, так і для встановлення терміну зберігання продукту.

Загальну кількість колонієутворювальних одиниць мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КУО МАНФАНМ) [15, с. 198] визначали у нативних та висушених зразках зерна після гідротермічного оброблення. Результати досліджень мікробіологічних показників зерна наведено у таблиці 2.

Досліджувалися зразки пророщеного зерна пшениці, під час підготовки яких застосовували: воду; водний екстракт часнику (20 г/дм^3); водний екстракт цибулі (20 г/дм^3); водний екстракт насіння кропу (15 г/дм^3).

У результаті проведених досліджень встановлено, що мікробіологічна обсемененість нативного зерна пшениці і пророщеного не перевищує показники допустимих значень мікробіологічної обсемененості, отже, зерно після запропонованого оброблення є безпечною сировиною для виробництва харчових продуктів з точки зору мікробіологічної чистоти. Досліджено, що використання екстрактів часнику, цибулі, насіння кропу сприяє зниженню мікробіологічного обсеменення зерна у процесі пророщування.

Антимікробний ефект зазначених фітоекстрактів пояснюється наявністю у складі овочевої сировини, яку використовували для їх приготування, фітонцидів, що мають бактерицидні властивості; також вони містять фенольні сполуки та їхні глікозиди, які виявляють антисептичну дію.

Враховуючи отримані дані, нами науково обґрунтовано та розроблено технологію оздоровчих продуктів на основі цільного зерна пшениці «Цілюще зернятко» з настоєм часнику чи настоєм цибулі. Такі продукти включають пророщене

зерно пшениці та відповідну заливку. Ці зернові продукти можна вживати самостійно, у вигляді гарнірів або додавати до салатів.

Продукти «Цілюще зернятко» мають хороші органолептичні показники: приємний запах пророщеного зерна та відповідної заливки (часнику чи цибулі); смак, характерний для пшеничного зерна після термічного оброблення з відтінком відповідної заливки; колір світло-коричневий, притаманний кольору пророщеного зерна.

Енергетична цінність 100 г продукту «Цілюще зернятко» становить 128 ккал. Враховуючи добову потребу дорослого населення у вітамінах [16], 100 г продукту «Цілюще зернятко» дає змогу задовольнити потребу у вітаміні Е на 36%, у вітамінах В₁ та В₂ – на 15–18%, В₆ – на 27%, у мінеральних речовинах: Р – на 20%, Mg – на 17%, Mn – більш як на 50%, Se – на 26%, Zn – на 12%.

Висновки. Водні екстракти часнику, цибулі, насіння кропу, а також череди та ромашки мають позитивний біохімічний фон для активізації метаболічних процесів у зерновому організмі, що сприяє інтенсифікації синтезу біологічно активних речовин, зокрема вітамінів-антиоксидантів, вітамінів групи В, вітаміноподібних речовин тощо. Фітоекстракт шавлії інгібує показники фізіологічної повноцінності зерна.

Використання екстрактів часнику, цибулі та насіння кропу сприяє пригніченню росту мікроорганізмів у процесі пророщування зерна.

Зерно, пророщене з використанням фітоекстрактів, має підвищену харчову цінність і є перспективною сировиною для виробництва інноваційних харчових продуктів.

Нами розроблено технологію виробництва оздоровчих продуктів на основі цільного пророщеного зерна пшениці з додаванням екстрактів часнику чи цибулі.

Список літератури:

1. Jordan M., Stoica A., Popescu E. Changes in quality indices of wheat bread enriched with biologically active preparations. *Annals food science and technology*. Volume 14. Issue 2. 2013. P. 165–170.
2. Beitane I. The Chemical Composition of Yoghurt Enriched with Flakes from Biologically Activated Hullless Barley Grain and Malt Extract. *International Scholarly and Scientific Research and Innovation*. No 7(3). 2013 Pp.181–184.
3. Procházka P., Štranc P., Pazderů K., Štranc J. The influence of pre-sowing seed treatment by biologically active compounds on soybean seed quality and yield. *Plant Soil Environ*. Vol. 62, 2016. No. 11. P. 497–501.
4. Ковальова О.С. Використання органічних кислот у технології солодощення. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*. 2018. Ч. II. С. 246.
5. Півоваров О.А., Ковальова О.С. Пророщування зернового матеріалу з використанням розчинів, активованих під дією контактної нерівноважної плазми. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. № 2. 2011. С. 86–90.
6. Mokle S.S., Vibhute Y.B. Synthesis of some new biologically active chalcones and flavones. *Scholars Research Library. Der Pharma Chemica*, 2009. No. 1(2). P. 145–152.
7. Кравченко М., Криворучко М., Поп Т. Якість борошна із зерна пшениці, пророщеного в розчині морської харчової солі. *Товари і ринки*. 2012. № 2. С. 106–111.
8. Zielińska-Dawidziak M. Wpływ jonów Fe²⁺ działających na kiełkujące nasiona soi, lucerny oraz ziarniaki pszenicy na zawartość skrobi i cukrów redukujących / M. Zielińska-Dawidziak, D. Piasecka-Kwiatkowska, T. Twardowski. *Nauka Przyr. Technol*. 2010. No. 4 (2). Pp. 1–8.
9. Титлов А.С. Поліпшення поживної цінності зерна з допомогою біотехнологічних методів обробки / А.С. Титлов, С.І. Солових, Г.Д. Лукина. *Аграрний вісник Причорномор'я*. Вип. 67. 2013. С. 21–27.
10. Kraska P. Wpływ wodnych wycigów z *Apera spica-venti* na energi i zdolnosc kiełkowania *Secale cereale* i *Triticosecale* / P. Kraska, E. Ska-Poppe. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska: Lublin – Polonia*. 200. No. 2. Pp.127–136.
11. Сімахіна Г.О. Використання високомінералізованої зернової сировини у вирішенні проблеми мікроелементної нестачі / Г.О. Сімахіна, Т.І. Миколів. *Наукові пр. Нац. ун-ту харч. технологій*. Київ : НУХТ, 2009. № 28. С. 10–13.
12. Глотова И.А., Галочкина Н.А. Влияние источников селена на биохимические процессы при набухании и прорастании зерна пшеницы. *Химия растительного сырья*. 2017. № 4. С. 211–216.
13. Карпук В.В. Фармакогнозия. Минск : БГУ, 2008. 350 с.
14. Vazhay-Zhezherun, S., Romanovska T., Antoniuk M. Improving the nutritional value of grains by biological activation. *Ukrainian Food Journal*. 2016. Vol. 5. Issue 3. P. 476–484.
15. Грегірчак Н.М. Мікробіологія харчових виробництв: лабораторний практикум. Київ : НУХТ. 2009. 302 с.
16. Про затвердження норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії : Наказ Міністерства охорони здоров'я України, 2017. № 1206/31074.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОЭКСТРАКТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ЗЕРНА

Научно обоснована целесообразность применения фитоэкстрактов для повышения содержания биологически активных веществ в процессе проращивания зерна. Определено влияние экстрактов широко используемых овощей – чеснока, лука, укропа и лекарственных растений – ромашки, шалфея, череды на показатели физиологической полноценности зерна пшеницы. Исследовано влияние указанных растительных экстрактов на изменение содержания витаминов в процессе проращивания зерна. Определены микробиологические показатели пророщенного зерна. Разработана технология оздоровительных продуктов на основе биологически активированного зерна пшеницы с использованием фитоэкстрактов.

Ключевые слова: биологическая активация, зерно, пшеница, фитоэкстракты, витамины, пищевая ценность, оздоровительные продукты.

USE OF PHYTOEXTRACTES FOR INCREASE OF NUTRITIONAL VALUE OF GRAIN

The expediency of using phytoextracts to increase the content of biologically active substances in the process of sprouted grain is scientifically substantiated. The influence of extracts of widely used vegetables – garlic, onion, dill and herbs – chamomile, sage, and herd on the indicators of physiological full value of wheat grain is determined. The influence of these plant extracts on the change in the content of vitamins in the process of sprouted grain was investigated. The microbiological parameters of sprouted grain are determined. The technology of health products based on biologically activated grain of wheat with the use of phytoextracts is developed.

Key words: biological activation, grain, wheat, phytoextracts, vitamins, nutritional value, health products.

Болгова Н.В.

Сумський національний аграрний університет

Губа С.О.

Сумський національний аграрний університет

Казанцев Ю.В.

Сумський національний аграрний університет

Єресь І.О.

Сумський національний аграрний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ВИРОБІВ ІЗ СИРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО ЗНЕЖИРЕНОГО

У роботі наведено результати експериментальних досліджень зміни показників якості виробів зі знежиреного кисломолочного сиру, отриманих сквашуванням знежиреного молока, комплексними бактеріальними композиціями прямого внесення. Обґрунтовані параметри зберігання сиркових виробів: температура 2–6°C, тривалість 8 діб.

Ключові слова: *вироби сиркові, зберігання, пробіотичні властивості, біфідобактерія, лактобактерія, кислотність, органолептичні показники.*

Постановка проблеми. Останніми роками великої популярності серед споживачів набувають вироби із сиру кисломолочного. Сиркові вироби – це кисломолочні продукти, які виробляють із кисломолочного сиру з додаванням вершків, вершкового масла, наповнювачів, харчових добавок [1, с. 4]. Такі кисломолочні продукти користуються попитом серед більшості людей працездатного віку, які не мають часу на повноцінний обід. Найбільший сегмент серед виробів із сиру кисломолочного займають сиркові десерти, що мають досить високу калорійність в основному за рахунок вуглеводних компонентів та жирів, що входять до їх складу. Регулярне вживання таких продуктів на фоні малорухливого способу життя може мати негативні наслідки, як наприклад, ожиріння. До того ж такі десерти не популярні серед споживачів, що дотримуються низькокалорійних дієт або намагаються скинути вагу. Сучасні тенденції в харчуванні свідчать про доцільність збільшення частки сегмента знежирених молочних продуктів загалом і виробів із сиру кисломолочного зокрема.

Серед асортименту кисломолочних продуктів високим попитом споживачів користуються вироби із сиру кисломолочного, які можуть замінити повноцінний сніданок/вечерю або використовуватись як перекус. Традиційно вироби із сиру кисломолочного містять понад 5% жиру та

близько 6% цукру. Зниження калорійності раціону за рахунок знежирених молочних продуктів може бути профілактичною мірою у разі ожиріння та інших аліментарних захворювань, особливо за умови зниження масової частки жиру в продукті та одночасного збереження білків, вітамінів та мінеральних речовин [2, с. 11].

Користь від вживання в їжу ферментованих молочних продуктів проявляється через їхню харчову, біологічну, фізіологічну, енергетичну цінність і лікувальну або профілактичну дію на організм людини. Крім того, споживчі властивості продуктів можна покращити за рахунок розширення складу сировини, використання додаткових інгредієнтів, впровадження нових інноваційних технологій [3, с. 41; 8, с. 315].

Дослідження процесів під час зберігання продуктів із сиру кисломолочного знежиреного та визначення граничних термінів зберігання стало одним із ключових завдань у розробці технології виробництва. Адже в сучасних ринкових умовах, в яких працюють молочні підприємства, термін придатності конкретного виду продукту відіграє важливу роль у разі замовлення такого продукту як крупними, так і дрібними торговельними мережами, що впливає на насиченість ринку та популяризацію продукту серед споживачів [4].

Терміни зберігання виробів із сиру кисломолочного обмежені, що становить не більше 3 діб для

нетермізованих продуктів [1, с. 11]. Такі продукти належать до швидкопсувних і потребують особливих умов зберігання. Тому обґрунтування умов зберігання виробів із сиру кисломолочного знежиреного та встановлення граничних термінів зберігання є важливим етапом розробки нової технології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На терміни зберігання виробів із сиру кисломолочного істотно впливає низка чинників, серед основних – якість вихідної сировини, мікрофлора закваски, технологічні параметри виробництва, використання консервантів та вид і спосіб пакування. Одними з головних чинників, що впливають на тривалість зберігання, є мікробіологічні показники продукту. Основним джерелом мікроорганізмів у готовому продукті є закваска, але також у продукті може міститись залишкова мікрофлора, яка в результаті порушень технологічних параметрів виробництва та зберігання може вплинути на безпечність, якість та зменшити терміни зберігання готового продукту.

За умови використання якісної сировини та дотримання технологічних параметрів мікроорганізми, що входять до складу заквашувальних композицій, у результаті своєї життєдіяльності виділяють речовини, що пригнічують ріст та розвиток сторонньої залишкової мікрофлори [5, с. 45].

Для заквашування знежиреного молока використовували заквашувальну композицію, до складу якої увійшли МК *B. animalis*, МК *Lbc. plantarum* та ЗК *Lac. lactis ssp.* у співвідношенні 1:1:1, вихідна концентрація використаних у композиції культур лакто- і біфідобактерій у разі інокуляції становила $1 \cdot 10^6$ КУО/см³, температура ферментації молочної сировини – $37 \pm 1^\circ\text{C}$ [6, с. 85].

Виклад основного матеріалу.

Метою цієї роботи стало обґрунтування параметрів зберігання виробів із сиру кисломолочного знежиреного за температури $2\text{--}6^\circ\text{C}$, вироблених за розробленою технологією [7] із додаванням наповнювачів рослинного походження [8, с. 315].

Об'єктами досліджень стали зразки виробів із сиру кисломолочного знежиреного із додаванням наповнювачів та без наповнювачів.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

- визначити зміну фізико-хімічних та органолептичних показників експериментальних зразків виробів із сиру кисломолочного знежиреного у процесі зберігання;

- дослідити зміну кількості життєздатних клітин монокультур (МК) *B. animalis Bb-12*, змішаних культур (ЗК) лактобактерій (*L. lactis ssp. Lactis* + *L. lactis ssp. cremoris* + *L. plantarum*);

- визначити кількість умовно-патогенних бактерій (бактерій групи кишкових паличок (БГКП) у зразках виробів із сиру кисломолочного під час зберігання;

- надати рекомендації щодо раціональних параметрів зберігання виробів із сиру кисломолочного знежиреного із додаванням наповнювачів рослинного походження та без наповнювачів.

Для виробництва зразків виробів із сиру кисломолочного знежиреного у лабораторних умовах незбиране коров'яче молоко сепарували для отримання знежиреного молока та вершків. В охолоджене знежирене молоко додавали фруктозу у кількості 0,1 мас.%, перемішували 15 хвилин та направляли на пастеризацію. Далі технологічний процес розділяється:

а) Для виробництва нежирної білкової основи знежирене молоко пастеризували за температури $80 \pm 2^\circ\text{C}$ з витримкою 20 сек., охолоджували суміш до температури заквашування $37 \pm 1^\circ\text{C}$. В охолоджену до температури заквашування нормалізовану пастеризовану суміш вносили комплексну закваску, до складу якої входять *L. lactis ssp.*, *L. plantarum* та *B. animalis* у співвідношенні 1:1:1, що забезпечує концентрацію всіх життєздатних клітин у нормалізованому молоці $1 \cdot 10^6$ КУО/см³, хлорид кальцію у кількості 40 г на 100 кг молока у вигляді 40%-вого розчину та молокозсідальний фермент *CHY-MAX Extra* фірми “CHR. Hansen” (Данія) у кількості 0,1 г на 1000 кг молока у вигляді 1%-вого розчину.

Сквашування молока здійснювали протягом 5 годин за температури $37 \pm 1^\circ\text{C}$ до досягнення рН згустку 5,1–5,3 од., після чого здійснювали обробку згустку. Самопресування, пресування та охолодження відбувалось протягом 3 годин. Готовність сиру перевіряли за масовою часткою вологи за допомогою прискореного методу на приладі Чижової.

б) Для виробництва нежирного ферментованого згустку в знежирене молоко з фруктозою вносили рисове борошно для дитячого харчування у кількості 2,0 мас.%. Суміш підігрівали до температури $60\text{--}65^\circ\text{C}$ і гомогенізували за температури $60\text{--}65^\circ\text{C}$ і тиску 12–15 МПа. Пастеризацію суміші проводили за t $90\text{--}95^\circ\text{C}$ з витримкою 5 хв. Пастеризовану суміш охолоджували до температури заквашування $37 \pm 1^\circ\text{C}$. В охолоджену до температури заквашування нормалізовану пастеризовану суміш вносили комплексну закваску, до складу якої входять *Lactococcus lactis ssp.*, *Lactobacilli plantarum* та *Bifidobacterium animalis* у співвідношенні 1:1:1, що забезпечує концентрацію всіх життєздатних клітин у нормалізованому молоці $1 \cdot 10^6$ КУО/см³.

Сквашування молочної суміші здійснювали протягом 7,5 години за температури $37 \pm 1^\circ\text{C}$ до досягнення рН згустку 4,7 од.

Сквашену суміш охолоджували до температури $20\text{--}22^\circ\text{C}$, перемішували протягом 30 хв. до отримання однорідної консистенції згустку.

в) Нежирну білкову основу змішували з ферментованим згустком (у зразку 1) та з ферментованим згустком і часником сушеним у вигляді порошку (у зразку 2) до утворення маси однорідної консистенції.

Фасування виробів із сиру кисломолочного знежиреного здійснювали у скляну стерилізовану тару по 100 ± 3 г.

Запакований продукт охолоджували до температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$, після чого технологічний процес був завершений.

Розфасовані в герметичну упаковку та охолоджені до $t 4 \pm 2^\circ\text{C}$ зразки виробів із сиру кисломолочного знежиреного зберігали за температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 13 діб. Показники якості виробів із сиру кисломолочного знежиреного (органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні) визначали з періодичністю, рекомендованою «МУ 4.2. 727-99» для пробіотичних молочних продуктів.

Для визначення термінів придатності виробів із сиру кисломолочного знежиреного титровану кислотність зразків визначали титрометричним методом за ГОСТ 3624-92, активну кислотність – потенціометричним методом за ГОСТ 25754-85, температуру – за ДСТУ 6066:2008, органолептичні

показники – органолептично за ГОСТ 13264-88, кількість бактерій групи кишкових паличок (коліформних бактерій) – за ГОСТ 30518-97, кількість пліснявих грибів та дріжджів – за ГОСТ 10444.12, кількість молочнокислих бактерій (найбільш вірогідне число), в т.ч. кількість лактобацил – за ГОСТ 10444.11-89, кількість біфідобактерій – за методом, який базується на вирощуванні біфідобактерій у тіогліколевому середовищі, розлитому високим стовпчиком у пробірці, без доступу кисню.

У готових продуктах визначали: зміну титрованої та активної кислотності, зміну кількості життєздатних клітин молочнокислих та біфідобактерій, наявність бактерій групи кишкової палички, кількість пліснявих грибів та дріжджів.

Зміни титрованої й активної кислотності експериментальних зразків виробів із сиру кисломолочного знежиреного у процесі зберігання визначали протягом 13 діб за температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$ (рис. 1).

Титрована кислотність експериментальних зразків виробів із сиру кисломолочного знежиреного у процесі зберігання зростає і становить: через 7 діб – $125\text{--}143^\circ\text{T}$, через 13 діб – $162\text{--}172^\circ\text{T}$ (рис. 1 а). Активна кислотність експериментальних зразків десертів сиркових під час зберігання знижується і становить: через 7 діб – $4,45\text{--}4,58$ рН, через 13 діб – $4,4\text{--}4,48$ рН (рис. 1 б). Нижчу титровану кислотність протягом усього дослідженого періоду зберігання – $102\text{--}163^\circ\text{T}$ – має експериментальний зразок 2, до складу якого додавали часник сушений у вигляді порошку. Цей же зразок має і найвищу активну

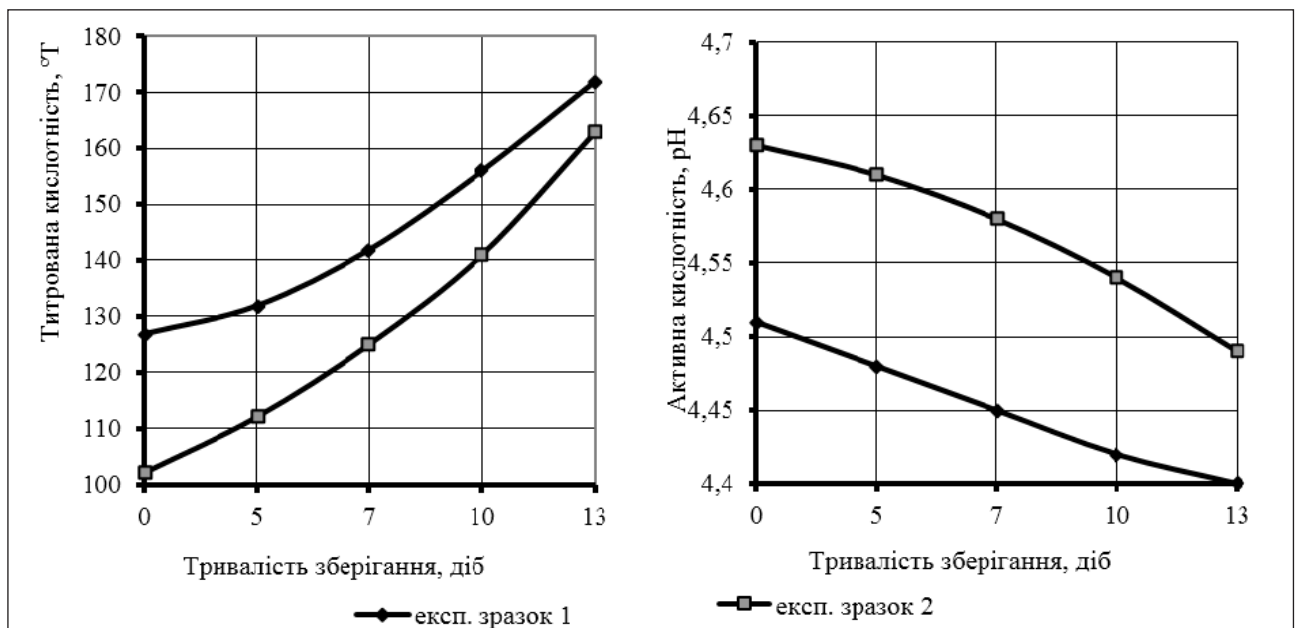


Рис. 1. Зміна титрованої (а) й активної (б) кислотності у експериментальних зразках під час зберігання

кислотність протягом 13 діб зберігання – 4,49–4,63 рН. Це пояснюється тим, що часник сушений у вигляді порошку, що входить до складу виробу сиркового, проявляє антисептичну дію, що призводить до уповільнення розмноження молочнокислих мікроорганізмів у продукті порівняно зі зразком 1, що підтверджує рисунок 2 а, тому молочнокислі мікроорганізми в меншій кількості накопичували продукти своєї життєдіяльності, а саме молочну кислоту.

Визначення в експериментальних зразках зміни кількості життєздатних клітин МК *B. animalis* Bb-12 та кількості життєздатних клітин ЗК лактобактерій, у т.ч. МК *L. plantarum* (КУО/г) (рис. 2), підтверджує закономірність розвитку мікроорганізмів закваски протягом всього терміну зберігання та високі пробіотичні властивості розроблених зразків.

Кількість біфідобактерій у експериментальних зразках 1 і 2 протягом перших 10 діб зберігання наростає $(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^8$ КУО/г (рис. 2 б). Але починаючи з 10-ї доби зберігання зразків біфідобактерій поступово відмирають.

Вищими пробіотичними властивостями характеризується експериментальний зразок 1, який містить наприкінці терміну зберігання $(3,0 \pm 0,2) \cdot 10^8$ КУО/г життєздатних клітин *B. animalis* Bb-12 (рис. 2 б) і вищу (порівняно зі зразком 2) концентрацію життєздатних клітин лактобактерій – $(6,0 \pm 0,2) \cdot 10^9$ КУО/г (рис. 2 а).

Експериментальні зразки виробів із сиру кисло-молочного знежиреного протягом 10 діб зберігання характеризувалися чистим кисло-молочним смаком,

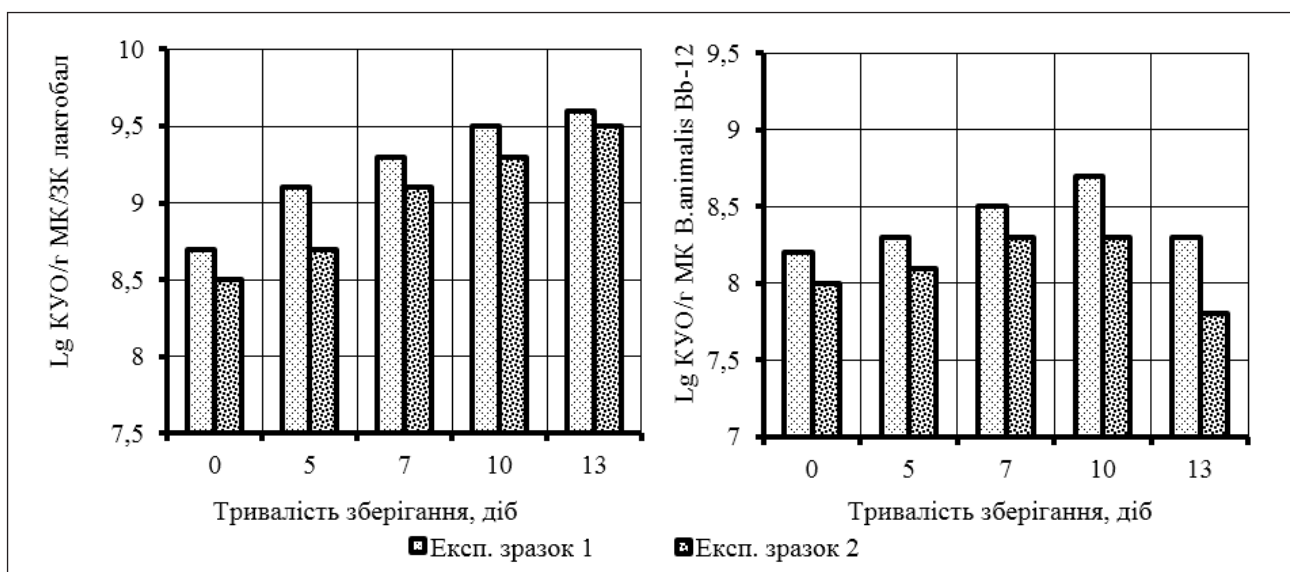
без сторонніх присмаків та запахів (зразок 1) та з помірно вираженим ароматом часнику (зразок 2), мали однорідний по всій масі продукту білий колір, консистенція продукту може характеризуватися як однорідна, але на 13-у добу зберігання було відзначено незначний синерезис.

Визначення БГКП у 0,01 г експериментальних зразків виробів із сиру кисло-молочного знежиреного негативні, що свідчить про відсутність БГКП у досліджуваній масі продукту.

Терміни дослідження продуктів мають за тривалістю перевищувати передбачуваний термін придатності, зазначений у проекті нормативної або технічної документації, на час, що визначається коефіцієнтом запасу, який згідно з «МУ 4.2. 727-99» для молочних продуктів, які швидко псуються, становить 1,3.

У результаті дослідження процесу зберігання виробів із сиру кисло-молочного знежиреного встановлено, що зміни фізико-хімічних, органолептичних і мікробіологічних показників експериментальних зразків протягом усього періоду зберігання відповідають вимогам нормативних документів на вироби сиркові, але на 13-у добу зберігання активна кислотність експериментальних зразків знизилась до 4,4–4,47 рН, тому було вирішено розраховувати граничні терміни зберігання від 10 діб. З урахуванням коефіцієнту запасу рекомендовану граничну тривалість зберігання розроблених продуктів за температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$ установили не більше 8 діб.

Концентрація життєздатних клітин лактобактерій у експериментальних зразках виробів із сиру



а) б)
Рис. 2. Зміна кількості ЗК лактобактерій (а) та МК *B. animalis* Bb-12 (б) у експериментальних зразках під час зберігання (КУО/г)

кисломолочного знежиреного на 10-у добу зберігання становить $(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^9$ КУО/г (рис. 2 а) та кількість життєздатних клітин біфідобактерій у зразках 1 і 2 відповідно $7 \cdot 10^8$ і $3 \cdot 10^8$ КУО/г, отже, кількість пробіотиків протягом усього процесу зберігання на два порядки перевищує вимоги нормативних документів (для біфідобактерій не менше $1 \cdot 10^6$). Це дає підстави віднести розроблені продукти до молочних продуктів з пробіотичними властивостями.

Висновки. У результаті проведених досліджень:

1) встановлено, що фізико-хімічні й органолептичні показники експериментальних зразків виробів із сиру кисломолочного знежиреного протягом

всього дослідженого терміну (13 діб) відповідали вимогам чинних нормативних документів;

2) доведено, що розроблені зразки виробів із сиру кисломолочного знежиреного можуть бути віднесені до категорії молочних продуктів з пробіотичними властивостями, оскільки кількість життєздатних клітин пробіотичних культур (МК В. animalis Bb-12 у експериментальних зразках 1 та 2) протягом усього процесу зберігання перевищує вимоги нормативних документів;

3) рекомендовано граничний термін зберігання експериментальних зразків виробів із сиру кисломолочного знежиреного за температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$ встановити 8 діб.

Список літератури:

1. ДСТУ 4503:2005. Вироби сиркові. Загальні технічні умови. Київ, 2006. 17 с.
2. Маньшов С.В. Исследование влияния денатурированных сывороточных белков на свойства низкокалорийных молочных-белковых продуктов : дис. ... канд. тех. наук : 05.18.04. Кемерово, 2009. 154 с.
3. Дубініна А.А., Летута Т.М., Янчева М.О., Бондаренко В.Ф., Віннікова В.О., Круглова О.С. Товарознавство продуктів функціонального призначення : навчальний посібник. Харків : ХДУХТ, 2015. 189 с.
4. Болотна О.В., Підлубна В.Р. Аналіз методів формування лояльності споживачів на ринку харчових продуктів. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5705>
5. Коваленко В.О., Євлаш В.В., Чернова Л.О. Мікробіологія молока і молочних продуктів : навчальний посібник. Харків : ХДУХТ, 2011. 136 с.
6. Окуневська С.О. Обґрунтування параметрів ферментації молочних сумішей у технології десертів сиркових для людей, схильних до артеріальної гіпертензії. *East European Scientific Journal. Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe* /Warszawa, Polska, 2017. No 6(22). С. 84–91.
7. Патент на корисну модель № 127524 UA МПК МПК А23С 19/032. Спосіб виробництва сиркового десерту зниженої енергоцінності / Ткаченко Н.А., Окуневська С.О., Назаренко Ю.В., Кітченко Л.М.; заявник і патентовласник Одеська національна академія харчових технологій. № u201801431, заявл. 14.02.2018, опубл. 10.08.2018, бюл. № 15.
8. Єресь І. О., Болгова Н. В. Обґрунтування використання часнику у виробництві функціональних молочних продуктів. *Сучасні технології у тваринництві та рибництві: навколишнє середовище – виробництво продукції – екологічні проблеми* : збірник матеріалів 73-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Київ : НУБіП України, 2019. С. 314–316.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ХРАНЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ОБЕЗЖИРЕННОГО ТВОРОГА

В работе приведены результаты экспериментальных исследований изменения показателей качества изделий из обезжиренного творога, полученных сквашиванием обезжиренного молока, комплексными бактериальными композициями прямого внесения. Обоснованы параметры хранения творожных изделий: температура 2–6°C, продолжительность 8 суток.

Ключевые слова: изделия творожные, хранение, пробиотические свойства, бифидобактерии, лактобактерии, кислотность, органолептические показатели.

THE RESEARCH OF THE PROCESSES OCCURRING IN PRODUCTS MADE FROM COTTAGE LOW FAT CHEESE WHILE BEING STORED

The article presents the results of experimental research, showing changes occurring in cottage cheese while being stored. The purpose of this work was to substantiate the parameters for storage of cottage cheese products made from fermented skimmed milk with the addition of vegetable fillers at a temperature of 2–6°C. Parameters for storage of cottage cheese products are substantiated: temperature 2–6°C, duration 8 days.

Key words: products from cottage cheese, storage, probiotic properties, bifidobacteria, lactobacilli, acidity, organoleptic parameters.

УДК 006.83:635.15

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/12>**Гапонцева О.В.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Селютіна Г.А.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Черевична Н.І.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Хацкевич Ю.М.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Віннікова В.О.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ КВАШЕНОЇ РЕДЬКИ

У статті проаналізовано сучасні способи переробки коренеплодів редьки та висвітлено проблеми, які ускладнюють технологічний процес виготовлення продуктів з них. Запропоновано новий спосіб виготовлення квашеної редьки з використанням додаткової пряно-ароматичної сировини, яка дає змогу сформуванню гарні органолептичних властивостей продукту. Проведено комплексну товарознавчу оцінку якості квашеної редьки.

Ключові слова: коренеплоди редьки, квашення, рецептура, органолептична оцінка, товарознавча оцінка.

Постановка проблеми. Квашені овочі є традиційними продуктами харчування, які характеризуються вмістом великої кількості клітковини, мінералів, вітамінів С, Р, групи В, але передусім молочної кислоти. Багаторічними дослідженнями І.І. Мечников довів, що саме квашені продукти сприяють виведенню з організму важких металів, сприяють нейтралізації токсинів, прискорюють обмін речовин, нормалізують мікрофлору кишечника, а також зміцнюють імунітет. Сучасні дослідження показують, що квашені овочі містять антиоксиданти, які захищають клітини організму людини від дії вільних радикалів та запобігають онкоутворенню.

Квашена редька є надзвичайно популярним продуктом у країнах Східної Азії, де тривалість життя одна з найвищих у світі. Проте азіатські продукти за своїми органолептичними властивостями є незвичними для вітчизняного споживача, тому завданням є розробка способу виробництва квашеної редьки, що задовольнить вимоги покупців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Редька здавна користується попитом не лише як ефективний лікувально-профілактичний засіб, а і як продукт для приготування різноманітних страв: салатів, гарнірів, соусів та приправ.

Коренеплоди редьки використовують для квашення, додаючи селеру, часник, сіль та цукор та піддаючи молочно-кислому бродінню протягом 10–12 діб [1]. У азіатських країнах редьку заквашують у бамбукових палицях, ця страва вважається делікатесом. У Кореї готують страву кімчі, що являє собою гостро заправлені квашені капусту, редьку, солодкий перець, цибулю та інші овочі [2]. ТМ Койорі розробила салат зі свіжої редьки «Как-тугі» з додаванням великої кількості спецій, який має гостро-солоний смак та відрізняється вмістом великої кількості БАР [3; 4].

Спосіб ферментації коренеплодів із нейтрально-лужними значеннями рН (у т.ч. і редьки) розроблено А.А. Кудряшовою. Із метою покращення якості цієї квашеної продукції та подовження терміну її зберігання як консервант використовують пореподібну масу зі щавлю в кількості 20–30% від загальної маси. Це дає змогу максимально пришвидшити ферментативні процеси, активізувати дію БАР, посилити бактерицидний та фунгіцидний ефект сировини.

Установлено, що редька більшою мірою застосовується у харчуванні як допоміжна сировина в поєднанні з великою кількістю інгредієнтів, що не дає можливості проявити достатнього лікувально-

профілактичного ефекту. Під час переробки плодово-овочевої сировини за традиційними технологіями відбуваються втрати БАР до 80%. Крім того, є труднощі під час виготовлення продуктів із редьки, що пов'язані з високим вмістом летких речовин, які, з одного боку, надають бактерицидні та антиоксидантні властивості, а з іншого – швидко руйнуються під час переробки, поліфенольні речовини сировини піддаються окисненню, в результаті чого зменшується корисність та погіршуються кольоро-параметричні характеристики продукту. Способи виробництва та органолептичні властивості страв азіатської кухні, де редька є основним компонентом, для вітчизняного споживача є незвичними та неприйнятними, тому нині, як правило, в Україні редька споживається лише свіжою в салатах або з лікувальними цілями.

Формулювання цілей статті. Зважаючи на унікальні хімічний склад і фармакологічну дію, з одного боку, та дешевизну – з іншого, редька є перспективною овочевою культурою для розробки профілактичного продукту масового споживання з високою харчовою, біологічною цінністю та гарними органолептичними характеристиками. Тому метою статті є розробка нового продукту з редьки та його товарознавча оцінка.

Виклад основного матеріалу. Для формування високоякісного продукту, який буде затребуваний споживачами, необхідно підібрати додаткові інгредієнти, які будуть гармонійно поєднуватися з редькою та сприятимуть покращенню її смако-ароматичних характеристик. За допомогою методу харчової комбінаторики як додаткову пряно-ароматичну сировину було обрано часник свіжий 0,5%; стручковий гіркий перець 0,5%; корінь імбиру 0,5%; корінь хрону 0,5%.

Застосування цієї сировини також дасть змогу додатково збагатити квашену продукцію фітонцидами, смолами, вітамінами С, Е, В₁, В₂, В₃, В₆, фолієвою кислотою, макро- і мікроелементами (калій, кальцій, магній, натрій, фосфор, ферум, манган, мідь і миш'як) [5].

Узагальнена схема квашення овочів складається з таких етапів: сортування сировини, інспектування, миття, очищення, подрібнення, підготовка солі або розсолу, укладання в тару, квашення, фасування, маркування та зберігання [6]. Відмінністю розробленого способу виготовлення квашеної редьки є додаткова обробка подрібненої сировини з метою зменшення вмісту нітратів і збереження пігментного комплексу сировини, а також застосування додаткової пряно-ароматичної сировини (часнику, імбиру, хрону, червоного гіркого перцю),

що формує гарні органолептичні властивості продукції.

Для виготовлення квашеної редьки доцільно використовувати сорти Лебідка та Серце дракона, які відрізняються підвищеним вмістом цукрів (необхідна умова перебігу молочнокислого бродіння), а також не містять надмірної кількості летких речовин, які можуть, з одного боку, перешкоджати процесу сквашування (за рахунок бактерицидної здатності), а з іншого – надавати неприємні смако-ароматичні характеристики.

За допомогою математичного моделювання було визначено концентрації рецептурних компонентів «Редьки квашеної»: редька сорту Серце дракона 93,0%; сіль кухонна кам'яна 3%; цукор білий 2%; часник свіжий 0,5%; стручковий гіркий перець 0,5%; корінь імбиру 0,5%; корінь хрону 0,5% [7].

На першому етапі товарознавчої оцінки квашеної редьки було проведено оцінювання експертами-дегустаторами за зовнішнім виглядом, консистенцією, кольором, смаком і запахом. Отримані результати дегустації наведені у вигляді профілограм на рис. 1.

Зовнішній вигляд квашеної редьки відрізняється відсутністю негативних властивостей, тоді як дескриптори «однорідність за розміром» та «однорідність забарвлення» мають дуже сильну інтенсивність.

Дескриптори, що характеризують консистенцію («соковита», «хрустка», «пружна») та колір («натуральний», «однорідний») в оцінюваному продукті дуже сильної інтенсивності, дещо меншої інтенсивності «яскравий».

Запах квашеної редьки інтенсивно «виражений», «гармонійний» та «духмяний» – середня інтенсивність. Також експерти відзначили наявність негативного прояву дескриптора «різкий», який відчувається слабо та пояснюється хімічним складом редьки та процесом перебігу молочнокислого бродіння. Тобто запах розробленого продукту характеризується як властивий сировині та гармонійний. Смак дуже інтенсивний за такими дескрипторами, як: «свіжий», «чистий», «гармонійний», «солоний»; «кислий», «пряний» – помірної інтенсивності, а «гострий» – ледь помітний. У цілому враження дегустаторів від смаку квашеної редьки є позитивним.

Таким чином, у результаті аналізу отриманих профілограм встановлено, що розроблена квашена редька має гармонійний приємний смак і аромат та за органолептичними показниками наближена до «ідеального» квашеного продукту за споживчими перевагами.

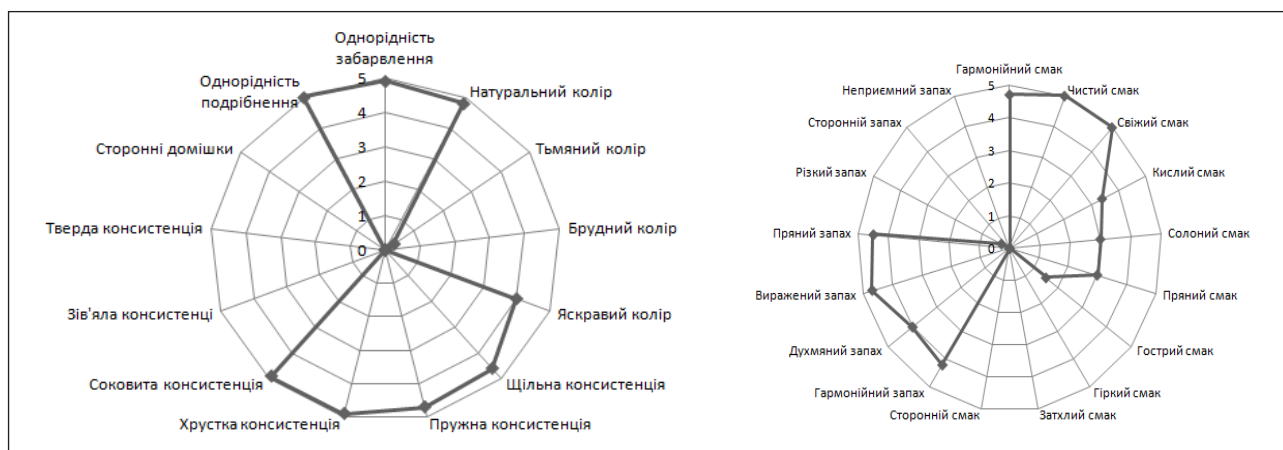


Рис. 1. Сенсорний профіль зовнішнього вигляду, консистенції та кольору (а), смаку та запаху (б) квашеної редьки

Відомо, що в процесі бродіння цукрів і під впливом внесеної солі відбуваються зміни хімічного складу овочів, фізичних властивостей: кількість азотистих речовин зменшується за рахунок розвитку молочно-кислої мікрофлори, колоїди овочів під впливом кислот набухають та викликають зміну консистенції. Також у процесі квашення утворюються нові речовини – молочна кислота, спирти тощо. У результаті всіх цих змін отримуються нові продукти не лише за смаковими характеристиками, а й за хімічним складом та фізичними властивостями [8]. Тому є доцільним дослідження хімічного складу розробленого продукту.

Враховуючи, що на вітчизняному ринку не представлено жодного зразка квашеної редьки, як аналог було вирішено взяти квашену редьку, виготовлену за узагальненою схемою виробництва та без використання додаткової пряно-ароматичної сировини [9]. Результати досліджень загального хімічного складу квашеної редьки наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Загальний хімічний склад квашеної редьки

Назва показника	Редька квашена (аналог)	Редька квашена
Вода, %	88,9	87,56
Білки, %	1,17	1,20
Жири, %	0,06	0,07
Моно- та дисахариди, %	2,0	3,1
Клітковина, %	1,40	1,10
Зола, %	2,00	2,21
Масова частка титрованих кислот (у перерах. на молочну кислоту), %	1,4	0,80
Масова частка хлоридів, %	1,8	1,3
Енергетична цінність, кКал/100 г	13,2	17,8

Харчова цінність квашеної редьки зумовлена речовинами сировини, котрі залишаються незмінними в процесі квашення та новоутвореними. Установлено, що більш ніж 87% хімічного складу розробленого продукту становить вода та сухі речовини, переважно моно- та дисахариди в кількості 3,1%, білки – 1,2% та клітковина – 1,1%. Завдяки низькому вмісту вуглеводів та жирів продукт має низьку калорійність (17,8 кКал/100 г). Варто зазначити, що розроблений продукт має вищий вміст вуглеводів, що пов'язано із застосуванням в його рецептурі додаткової кількості цукру, що дало змогу забезпечити гарні смакові властивості.

Загальна кількість зольних елементів у квашеній редьці становить 1,1%, зокрема макро- і мікроелементів, серед яких переважають Na, K, Ca, P (табл. 2).

Таблиця 2

Мінерально-вітамінний склад квашеної редьки

Назва показника	Дослідний зразок	
	Редька квашена (аналог)	Редька квашена
Натрій	661,0	641,4
Калій	295,0	302,0
Кальцій	24,0,0	25,3
Магній	15,0	17,0
Фосфор	20,0	22,6
Ферум	1,47	1,72
Вітамін С	16,7	28,1

Так, вміст натрію становить 641,6 мг/100 г, що задовольняє добову потребу на 100%, а калію – 302 мг/100 г (близько 15% добової потреби).

До вітамінного складу квашеної редьки входять водорозчинний вітамін С у кількості 28,1 мг/100 г, що задовольняє близько 40% добової потреби в ньому. Своєю чергою продукт-аналог вміщує лише 16,7 мг/100 г аскорбінової кислоти, що пояснюється особливостями хімічного складу вихідної сировини та технологічними параметрами виготовлення продукції.

Наявність антоціанів у сорті Серце дракона зумовлюють корисні властивості розробленого квашеного продукту.

Під час квашення відбуваються фізико-хімічні та біохімічні процеси під дією ферментів, мікроорганізмів, зовнішніх чинників (температура, світло), які впливають на кольорові характеристики редьки, тому доцільним є порівняння вмісту флавоноїдів сировини та готової продукції (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст флавоноїдів та антиоксидантна здатність квашеної редьки

Показник	Редька Серце дракона		
	свіжа	квашена (аналог)	квашена
Катехіни, мг/100 г	55,0	45,0	49,5
Лейкоантоціани, мг/100 г	82,0	70,1	75,8
Флавоноли, мг/100 г	95,0	76,0	83,98
Антоціани, мг/100 г	365,0	278,5	312,1
АОЗ, мг/мл	0,344	0,120	0,339

Установлено, що в результаті квашення відбулися втрати флавоноїдів: вміст катехінів зменшився на 10%, лейкоантоціанів – на 7,5%, флавонолів – на 11,6%, антоціанів – на 14,5%, що пояснюється процесом дифузії в розсіл клітинного соку з водорозчинними речовинами, якими є поліфеноли.

Втрати флавоноїдів у продукті-аналогі становлять у середньому 20%, що можна пояснити інтенсивним перебігом біохімічних процесів у продукті порівняно з розробленим продуктом, який передбачає під час виготовлення етап вимочування в стабіліційному розчині, що сприяє кращій їх збереженості.

Своєю чергою АОЗ знизилася лише на 1,5% у квашеній редьці та на 35% в аналозі. Це можна пояснити застосуванням у новому продукті додаткової сировини, яка має антиоксидантні властивості, що дає змогу компенсувати втрати антиоксидантних речовин редьки.

Таким чином, квашена редька є джерелом органічних кислот (молочної), мінеральних речовин (Na, K, Ca, P), клітковини, вітаміну С, флаво-

ноїдів, які сприяють покращенню роботи травної системи.

Наступним завданням було встановлення відповідності розробленого продукту за вмістом токсичних речовин показникам безпеки. Результати дослідження наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Вміст залишкової кількості токсичних речовин у продукті

Назва показника, мг/кг	ГДК	Редька квашена
Свинець	< 0,5	0,1
Кадмій	< 0,03	0,01
Мідь	< 5,0	3,3
Цинк	< 10,0	5,2
Ртуть	< 0,01	не виявлено
Миш'як	< 0,5	не виявлено
Пагулін	< 0,05	не виявлено
Cs-137, Бк/кг	< 40	2,2
Sr-90, Бк/кг	< 20	2,1
Нітрати	< 200	58,0
Пестициди	< 0,05	не виявлено

Мікробіологічну безпечність квашеної редьки контролювали за показниками згідно з СанПіН 2.3.2.1078-01, а саме: за кількістю мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, бактерій групи кишкової палички, патогенних мікроорганізмів (у тому числі бактерій роду *Salmonella*), пліснявих грибів і дріжджів [10]. Дані наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Мікробіологічні показники квашеної редьки

Назва показника	Вимоги СанПіН 2.3.2 1078-01	Мікробіологічні показники
КМАФАнМ, КУО в 1 г	не нормується	2,0x10 ⁴
БГКП у 0,1 г	не допускаються	не виявлені
Патогенні м/о, у т.ч. <i>Salmonella</i> в 25 г	не допускаються	не виявлені
<i>Staph.aureus</i> у 0,1 г	не допускаються	не виявлені
Плісняві гриби, КУО/г	не більше 50	не виявлені
Дріжджі, КУО/г	не більше 200	не виявлено

Одержані результати свідчать, що розроблена продукція не містить бактерій групи кишкової палички, сальмонели, пліснявих грибів, дріжджів. Кількість мезофільних анаеробних та

факультативно-аеробних мікроорганізмів перебуває в допустимих межах.

Висновки. Проведений аналіз способів переробки редьки показав, що в світі ведуться розробки нових видів продуктів харчування, до складу яких входить редька як допоміжна сировина. Вони характеризуються високою калорійністю, значною собівартістю, а також невисоким вмістом есенціальних речовин. Труднощі під час переробки редьки пов'язані з тим, що коренеплід містить велику кількість летких речовин, які зумовлюють його специфічний смак та аромат і руйнуються під час виготовлення продукції, високий вміст поліфенольних сполук, що є нестабільними під дією окислювальних ферментів тощо. Показана доцільність використання коренеплодів редьки як основної сировини у виробництві маринованої, квашеної продукції та цукатів із гарантованою безпечністю, підвищеним вмістом БАР та гарними смако-ароматичними характеристиками.

За допомогою методу харчової комбінаторики

та математичного моделювання рецептури було розроблено новий продукт – квашену редьку. Для формування приємних смако-ароматичних характеристик додатково використано свіжий імбир, часник, гіркий червоний перець та хрін, що підтверджено результатами органолептичної оцінки за допомогою профільного методу. Доведена висока харчова цінність квашеної редьки за рахунок вмісту антоціанів, мінеральних речовин та вітаміну С, що надає їй профілактичних властивостей. За показниками хімічної та мікробіологічної безпеки розроблений продукт відповідає вимогам нормативної документації.

Оскільки під час зберігання квашеної продукції відбуваються подальші фізико-хімічні та біохімічні процеси, які спричиняють зміну харчової цінності, органолептичних та мікробіологічних показників, доцільними є подальші дослідження зміни органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних показників якості продукції під час зберігання для встановлення виду пакування продукції, умов та терміну зберігання.

Список літератури:

1. Кадзуко Эми, Фукуока Ясуко. Практическая энциклопедия японской кухни. Традиции, кулинарные приёмы, продукты, рецепты. Челябинск : Аркаим, 2007. 256 с.
2. Державина Н. Кухни народов мира: корейская кухня. Москва : Эксмо, 2003. 320 с.
3. Корейский салат из редьки Кактуги. URL: <http://kimchishop.ru/index.php/component/jshopping/korejskie-salaty/korejskij-salat-iz-redki-kaktugi-koyori-300-g?Itemid=0>.
4. Рышарева Е.А. Ноу-хау китайской кухни. *Эксперт*. 2004. № 11. URL: http://expert.ru/expert/2004/11/11ex-china_30687/.
5. Черевко А.И., Павлюк Р.Ю., Погарская В.В., Яницкий В.В. и др. Новые технологии биологически активных растительных добавок и их использование в продуктах иммуномодулирующего и радиозащитного действия : монография. Харьков; Киев: б. и., 2002. 205 с.
6. Нечаев В.Н., Кочеткова А.А., Зайцев А.Н. Пищевые добавки. Москва : Колос Пресс, 2002. 256 с.
7. Спосіб виробництва ферментованої редьки: пат. на корисну модель 92657 Україна, МПК А23L 1/23 (2006.01) / Селютіна Г.А., Виродова О.В. № u201403391; заявл. 03.04.2014; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16/2014. 3 с.
8. Филиппович Ю.Б. Основы биохимии. Москва : Агар, 1999, 518 с.
9. Выщепан А.Г., Мельман М.Е. Физико-химические основы соленья и квашенья овощей. Москва : Госторгиздат, 1952. 158 с.
10. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01, URL: http://mibio.ru/docs/110/sanpin_2.3.2.107801_gigienicheskie_trebvaniya_bezopasnosti.pdf.

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КВАШЕНОЙ РЕДЬКИ

В статье проанализированы современные способы переработки корнеплодов редьки и освещены проблемы, которые затрудняют технологический процесс изготовления продуктов из них. Предложен новый способ изготовления квашеной редьки с использованием дополнительного пряно-ароматического сырья, что позволяет сформировать хорошие органолептические свойства продукта. Проведена комплексная товароведческая оценка качества квашеной редьки.

Ключевые слова: корнеплоды редьки, квашение, рецептура, органолептическая оценка, товароведная оценка.

FORMATION OF THE QUALITY OF THE CASTED RIVER

The article analyzes modern methods of processing radish root crops and highlights problems that complicate the technological process of making products from them. A new method of producing saffron radish with the use of additional spice-aromatic raw material is proposed, which allows to form good organoleptic properties of the product. The complex commodity evaluation of the quality of sauerkraut is carried out.

Key words: radish root crops, leaven, recipe, organoleptic evaluation, commodity evaluation.

Гейнак О.І.

Національний університет харчових технологій

Кирпіченкова О.М.

Національний університет харчових технологій

Сильчук Т.А.

Національний університет харчових технологій

Дочинець І.В.

Національний університет харчових технологій

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ СТРАВ ОЗДОРОВЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Метою закладів ресторанного господарства має бути формування культури здорового харчування як основної умови розвитку якості життя країни та оздоровлення нації. Стаття присвячена розробці страви «Салат з курятиною, грушею та авокадо», що додатково збагачений клітковиною та поліненасиченими жирними кислотами, які містяться в авокадо. Також розраховано енергетичну цінність страви.

Ключові слова: *здорове харчування, авокадо, клітковина, поліненасичені жирні кислоти, салат.*

Постановка проблеми. Здоровий спосіб життя є актуальним, оскільки в період прогресу і розвитку всіляких технологій на людський організм діють різного роду навантаження, пов'язані з підвищенням техногенних, екологічних та психологічних впливів, які провокують несприятливі зрушення в здоров'ї окремої людини.

Сучасна наука харчування розглядає їжу головним чином як інтегральне джерело енергії і основних харчових речовин. Для нормальної життєдіяльності організму необхідне не тільки відповідне енергетичне забезпечення, але і постійне надходження поживних речовин: білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних солей. Дефіцит цих біологічно активних речовин супроводжується зниженням захисних сил організму, що перешкоджають несприятливому впливу шкідливих факторів навколишнього середовища, формуванням синдрому хронічної втоми, зниженням розумової та фізичної працездатності, загостренням хронічних захворювань.

Здорове харчування – складник здорового способу життя. Тому одним з найбільш ефективних способів оздоровлення як окремих людей, так і суспільства в цілому є зміна структури споживаних продуктів з виключенням або значним скороченням некорисних продуктів та істотним збільшенням продуктів з лікувально-профілактичними властивостями.

Для оптимізації харчування провідна роль належить функціональним продуктам харчування. Функціональні харчові продукти – це продукти, які призначені для систематичного споживання у складі харчових раціонів усіма віковими групами здорового населення. Вони виконують такі функції:

- компенсують дефіцити біологічно активних компонентів в організмі;
- підтримують нормальну функціональну активність органів і систем;
- знижують ризик різних захворювань, створюють дієтичний фон;
- підтримують корисну мікрофлору в організмі людини і нормальне функціонування шлунково-кишкового тракту [3, с. 40].

Одним з таких продуктів є авокадо, що містить інгредієнти, які допомагають зберегти та покращити здоров'я людини, знизити ризик виникнення хвороб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цій проблематиці приділяли увагу у своїх працях такі провідні вітчизняні і зарубіжні спеціалісти та науковці, як: О.І. Колесніков, Л.П. Ткачук, О.В. Рехлецька, Н.М. Богдан, Patrícia Fonseca Duarte, В.О. (Bob) Bergh та інші.

Виклад основного матеріалу. Авокадо – сільськогосподарська культура, що прийшла до нас з Центральної Америки, яка має щільну жирну,

сильно маслянисту кремоподібну м'якоть, специфічний «трав'яний» смак і запах. Плоди авокадо можуть мати різну форму – овальну або грушоподібну, шкірка темно-зеленого кольору. Деякі авокадо глянцевої, інші – злегка бурі. За вагою плоди також досить суттєво різняться – від 100–150-грамових невеликих авокадо до кілограмових.

Калорійність авокадо в середньому становить приблизно 212 ккал на 100 грам продукту. Це залежить від жирності продукту, яка коливається залежно від сорту і географії вирощування.

Відомо, що авокадо має корисні властивості: знижує рівень холестерину в крові, є антиоксидантом, знижує ризик серцево-судинних захворювань, допомагає краще засвоїти поживні речовини [6].

Авокадо має в своєму складі практично весь набір жирних незамінних кислот, які необхідні для збереження пам'яті і нормального функціонування клітин мозку. Вітамінно-мінеральний склад авокадо багатий і різноманітний, в нього входять: холін, вітаміни А, В₁, В₂, В₅, В₆, В₉, С, D, Е, Н і РР, а також необхідні організму макро- і мікроелементи: калій, кальцій, магній, мідь, марганець, залізо, фосфор, натрій. Авокадо є ефективним антиоксидантом, що захищає клітини від старіння, бере участь у процесах кровотворення, позитивно впливає на діяльність шлунково-кишкового тракту. Завдяки вмісту поліненасичених жирних кислот авокадо сприяє процесу нормалізації ваги. Фрукт містить каротиноїди, зокрема лютеїн – головний антиоксидант, який захищає від дегенерації сітківки і катаракти. Хімічний склад авокадо наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад авокадо (на 100 г продукту) [5]

Харчові речовини	Вміст	Харчові речовини	Вміст
Вуглеводи	7,4 г	Вітамін В ₅	1,46 мг
Жири, з них:	15,41 г	Вітамін В ₄	14,2 мг
– поліненасичені	1,82 г	Вітамін В ₉	89 мкг
– мононенасичені	9,8 г	Калій	507 мг
– насичені	2,13 г	Кальцій	13 мг
Білки	2,0 г	Магній	29 мг
Зола	1,66 г	Натрій	8 мг
Вода	72,33 г	Фосфор	54 мг
Клітковина	6,7 г	Залізо	0,61 мг
Вітамін А	7 мкг	Марганець	0,15 мг
Вітамін Е	1,97 мг	Мідь	0,17 мг
Вітамін К	21 мкг	Селен	0,4 мкг
Вітамін С	8,8 мг	Цинк	0,68 мг
Вітамін РР	1,91 мг	Вітамін В ₅	1,46 мг

За смаковими і біохімічними особливостями плоди авокадо різко відрізняються від інших плодів. Вони нагадують горіхи, бо містять багато ліпідів. Ліпіди авокадо легко засвоюються, представлені тригліцеридами, жирними кислотами (олеїнова, пальмітинова, лінолева) і не містять холестерин. Цукри представлені глюкозою, фруктозою і сахарозою. Особливістю авокадо є наявність моносахаридів з 7–9 атомами вуглецю, які в деяких сортах можуть мати порівняно високу масову частку. Висока енергетична цінність дає змогу віднести авокадо до цінних продуктів харчування, в тому числі для діабетиків.

У рідкісних випадках зустрічається індивідуальна непереносимість продукту, алергічні реакції на авокадо не виявлені.

Авокадо відоме своєю високою поживною цінністю. Згідно з даними досліджень, регулярне його споживання покращить травлення, серцево-судинну систему і багато інших показників здоров'я. Саме тому цей продукт має бути в раціоні кожного.

Формування цілей дослідження. Метою роботи було розроблення нової страви «Салат з курятиною, грушею та авокадо» для закладів ресторанного господарства, що збалансована за хімічним складом і містить авокадо.

Розроблення та характеристика сировинного складу салату. Салат – це холодна страва, що готується з різних сирих, запечених на грилі, відварених чи солених, маринованих овочів та фруктів.

Салат є легкою їжею, легко засвоюється в шлунку, містить поживні речовини та вітаміни. Тому він є складником, без якого не обходиться раціон здорового харчування.

Для приготування страви «Салат з курятиною, грушею та авокадо» було використано сировину, яка наведена у таблиці 2.

Додавання у салат авокадо дасть змогу додатково збагатити розроблювану страву клітковиною і поліненасиченими жирними кислотами.

Клітковина – це полісахарид, що дає за повного гідролізу глюкозу. Клітковина входить до складу більшості рослинних організмів, будучи основою клітинних стінок (мембран).

До корисних властивостей клітковини відносять: зв'язування радіонуклідів і двовалентних металів, зниження рівня холестерину в крові, нормалізацію складу мікрофлори травної системи, профілактику та лікування цукрового діабету, здатність утримувати воду, забезпечення профілактики серцево-судинних захворювань та ожи-

Характеристика сировинного складу салату

Сировина	Характеристика
Куряче філе	Містить легкозасвоюваний тваринний білок. Магній, що міститься в курятині, зміцнює імунітет, поліпшує пам'ять, допомагає долати втоми. Вітаміни групи В омолоджують шкіру, нормалізують процеси метаболізму
Помідори черрі	Містять малу кількість калорій, покращують обмін речовин. Велика кількість вітаміну А і каротинів позитивно впливає на органи зору. Лікопін захищає організм від раку шлунка, простати і легень, а також є профілактикою виникнення катаракти. Антиоксиданти, що містяться в плодах, сприяють довголіттю
Груша	Багата на цукри, органічні кислоти, ферменти, клітковину, дубильні, азотні і пектинові речовини, вітаміни С, В ₁ , Р, РР, каротин (провітамін А), а також флавоноїди і фітонциди
Соевий соус	Антиоксиданти, що містяться в соєвому соусі, підвищують імунітет. Спостерігається позитивний терапевтичний ефект для серцево-судинної системи. Цей продукт показав хороші результати в боротьбі з діареєю, порушеннями кровообігу і дегенеративними хворобами нервової системи
Оливкова олія	Містить лінолеву кислоту, яка сприяє виведенню холестерину з організму, нормалізує артеріальний тиск, а також сприяє загоєнню ран, виразок, порізів. Має імуностимулюючу властивість
Авокадо	Допомагає в стресових ситуаціях, заповнюючи недолік калію і заспокоюючи нервову систему. Регулярне вживання в їжу цього фрукта зменшує ризик інфаркту, допомагає знизити артеріальний тиск. Цей плід запобігає розвитку недокрів'я завдяки наявності в своєму складі міді і заліза. Клітковина фрукта допомагає оздоровити мікрофлору кишечника, поліпшити його перистальтику.

ріння, зниження кров'яного тиску, покращення перистальтики товстого і тонкого кишечника [4].

Добова потреба: хлопчики молодшого шкільного віку (3–9 років) – 25 г; норма для хлопчаків-підлітків (10–18 років) – 35 г; для дівчат – не менше 25 г; дорослим людям і хворим на діабет – не менше 40 г; вагітним жінкам – у середньому 30 г.

Одним з ключових напрямів є розробка і впровадження продуктів збалансованого жирнокислотного складу. Хімічний склад жирів важливий для характеристики харчової цінності конкретного продукту. Співвідношення жирних кислот – один з показників біологічної і відповідно харчової цінності жирів.

Європейські вчені вважають, що співвідношення НЖК:МНЖК:ПНЖК має становити 3:6:1, вміст ПНЖК у раціоні дорослої людини – мінімум 2 г на добу. При чому співвідношення ω -6 до ω -3 має становити 10:1 для дорослої здорової людини або 5:1 для людини, що має проблеми з ліпідним обміном.

Нестача або надлишок жирів є практично однаково небезпечними для організму людини. За низького вмісту жиру в раціоні, особливо у людей з порушеним обміном речовин, з'являється сухість і гнійничкові захворювання шкіри, знижується опірність організму до інфекцій, порушується обмін вітамінів [2, с. 28].

Добова потреба ПНЖК: для чоловіків – ω -3 – 1–2 г; ω -6 – близько 0,7 г; для

жінок – ω -3 – 0,9–1,5 г; ω -6 – 0,7–0,8 г; для дітей – ω -3 – до 1 г; ω -6 – до 0,7 г.

За сучасними уявленнями найбільш доцільним є використання в складі страв жирів, що мають збалансований склад, а не вживати жирові продукти різного складу протягом доби.

Розроблення технології приготування страви «Салат з курятиною, грушею та авокадо».

Таблиця 3

Технологічна карта на «Салат з курятиною, грушею та авокадо»

№ з/п	Найменування сировини	Маса сировини, г/порцію			
		до збагачення		після збагачення	
		1 Б	1 Н	1 Б	1 Н
1	Куряче філе	85	79	50	44
2	Помідори черрі	40	35	33	28
3	Груша	38	28	43	33
4	Соевий соус	5	5	5	5
5	Оливкова олія	3	3	3	3
6	Авокадо	–	–	49	37
	Вихід		150		150

Перед приготуванням страви «Салат з курятиною, грушею та авокадо» потрібно дослідити її на вміст клітковини та поліненасичених жирних кислот до збагачення і подивитися, наскільки зміниться вміст цих же нутрієнтів після збагачення страви авокадо. Дані розрахунків наведено у табл. 4 та 5.

Таблиця 4

Аналіз вмісту клітковини та ПНЖК у страві до збагачення

Сировина	Маса нетто, г	Вміст клітковини, мг		Вміст ПНЖК, г	
		в 100 г продукту	в одній порції (150 г)	в 100 г продукту	в одній порції (150 г)
Куряче філе	79	–	–	0,22	0,17
Помідори черрі	35	1200	420	1,11	0,38
Груша	28	3100	868	-	-
Соевий соус	5	–	–	0,02	0,001
Оливкова олія	3	–	–	12,1	0,36
Вихід	150		1288 (1,28 г)		0,911

Таблиця 5

Аналіз вмісту клітковини та ПНЖК у страві після збагачення

Сировина	Маса нетто, г	Вміст клітковини, мг		Вміст ПНЖК, г	
		в 100 г продукту	в одній порції (150 г)	в 100 г продукту	в одній порції (150 г)
Куряче філе	44	–	–	0,22	0,09
Помідори черрі	28	1200	336	1,11	0,31
Груша	33	3100	1023	–	–
Авокадо	37	6700	2479	1,82	0,67
Соевий соус	5	–	–	0,02	0,001
Оливкова олія	3	–	–	12,1	0,36
Вихід	150		3838 (3,83 г)		1,43

Таблиця 6

Розрахунок енергетичної цінності страви до збагачення авокадо

Сировина	Маса нетто, г	Білки		Жири		Вуглеводи	
		100 г	Вихід	100 г	Вихід	100 г	Вихід
Куряче філе	79	23,6	18,6	1,9	1,5	0,4	0,31
Помідори черрі	35	–	–	–	–	4	1,4
Груша	28	0,4	0,11	0,3	0,08	10,3	2,88
Соевий соус	5	6,2	0,31	0,04	0,002	7,6	0,38
Оливкова олія	3	–	–	99,8	2,99	–	–
Вихід	150		19,02		4,57		4,97

Таблиця 7

Розрахунок енергетичної цінності страви після збагачення авокадо

Сировина	Маса нетто, г	Білки		Жири		Вуглеводи	
		100 г	Вихід	100 г	Вихід	100 г	Вихід
Куряче філе	44	23,6	10,38	1,9	0,83	0,4	0,17
Помідори черрі	28	–	–	–	–	4	1,12
Груша	33	0,4	0,13	0,3	0,09	10,3	3,39
Соевий соус	5	6,2	0,31	0,04	0,002	7,6	0,38
Оливкова олія	3	–	–	99,8	2,99	–	–
Авокадо	37	2,0	0,74	20,0	7,4	7,4	2,73
Вихід	150		11,56		11,31		7,79

Провівши розрахунки, можна побачити, що вміст клітковини збільшився на 2,55 г, або на 199,21%, а вміст ПНЖК – на 0,519 г, або на 56,97%.

Після збагачення салату ми задовольнимо потребу організму в клітковині на 12,76% від добової кількості, а ПНЖК – на 28,6%.

Розрахунок енергетичної цінності. Під час окислення в організмі людини утворюється: 1 г білку – 4 ккал, 1 г жиру – 9 ккал, 1 г вуглеводів – 4 ккал.

Розрахунок енергетичної цінності страви до та після збагачення наведено у табл. 6 та табл. 7.

Енергетична цінність 1 порції страви (150 г) до збагачення (табл. 6):

$$ЕЦ = 4 \times 19,02 + 9 \times 4,57 + 4 \times 4,97 = 137,09 \text{ ккал/1 порції.}$$

Енергетична цінність 100 г страви – 91,39 ккал, в тому числі: білків – 12,68 г, жирів – 3,04 г, вуглеводів – 3,31 г.

Енергетична цінність 1 порції страви після збагачення (150 г) (табл. 7):

$$ЕЦ = 4 \times 11,56 + 9 \times 11,31 + 4 \times 7,79 = 209,19 \text{ ккал/1 порції.}$$

Енергетична цінність 100 г страви – 139,46 ккал, в тому числі: білків – 7,70 г, жирів – 7,54 г, вуглеводів – 5,19 г.

З розрахунків можна побачити, що, додавши до салату авокадо, калорійність її зросте на 48,07 ккал. Це зумовлено тим, що фрукт є калорійним і більшу частину його маси становлять жири, які містять поліненасичені жирні кислоти.

Встановлено, що додавання авокадо до салату дає змогу збагатити його поліненасиченими жирними кислотами та наблизити його жирнокислотний склад до рекомендованих норм. Так, співвідношення ω -6: ω -3 у салаті до збагачення становило 23:1, тоді як після – 15:1.

Висновки. Споживачі все частіше вибирають продукти харчування, які не тільки тамують голод та дають необхідні поживні речовини, але мають додаткові переваги – покращують фізичне і розумове здоров'я.

Тренд на здорове харчування є актуальним, і з кожним роком в Україні закладів ресторанного господарства, які пропонують у меню подібну продукцію, стає більше.

Концепція «смачної і здорової їжі» зараз доповнюється за рахунок ще однієї важливої якості – функціональності. На прилавках можна зустріти тип продуктів, які за щоденного споживання здатні на молекулярному та клітинному рівнях забезпечувати ефективне протікання всіх метаболічних процесів у живому організмі.

Продукти з підвищеним вмістом клітковини, вітамінів, мінералів і поліненасичених жирних кислот необхідні для правильного і здорового харчування.

У статті було розроблено технологію страви «Салат з курятиною, грушею та авокадо» та проведено розрахунки, які показали:

– страву містить у своєму складі велику кількість мікро- та макроелементів, які виконують багато важливих функцій в організмі;

– після збагачення салату потребу організму в клітковині буде задоволено на 12,76% від добової потреби, а ПНЖК – на 28,6%;

– співвідношення ω -6: ω -3 у салаті після збагачення наблизилося до рекомендованих норм і становить 15:1;

– після додавання до страви авокадо її калорійність зросте на 48,07 ккал.

Список літератури:

1. Дуденко Н.В., Павлоцька Л.Ф., Артеменко В.С., Головка М.П., Євлаш В.В., Коваленко В.О., Горбань В.Г. Практикум з основ фізіології та гігієни харчування : навчальний посібник. Харків : Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2004. 183 с.
2. Івашків Л.Я. Основні принципи оздоровчого харчування. *Вісник Львівського інституту економіки і туризму*. Науковий журнал. 2009, № 4.
3. Сирохман І.В., Завгородня В.М. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 544 с.
4. Здорове і раціональне харчування. URL: <https://antyseptyky.com/zdorove-i-ratsionalne-harchuvannya-gigiyena-harchuvannya-klitkovina-bilki-zhiri-vuglevodi-vitameni-mineralni-rechovini-soli-ta-inshi-neobhidni-komponenti-pravilnogo-harchuvannya>.
5. Авокадо: хімічний склад, харчова цінність, калорійність, корисні й шкідливі властивості. URL: <http://likar.net.ua/harchuvannya-dyeti/5421-avokado-hmchniy-sklad-harchova-cnnst-kalorynst-korisn-y-shkdliv-vlastivost.html>.
6. Авокадо: калорійність, корисні властивості і шкода. URL: <https://medytsyna.com/avokado-kalorijnist-korisni-vlastivosti-korist-i/>.

РАСШИРЕНИЕ АССОРТИМЕНТА БЛЮД ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ЗАВЕДЕНИЯХ РЕСТОРАННОГО ХОЗЯЙСТВА

Целью заведений ресторанного хозяйства должно быть формирование культуры здорового питания как основного условия развития качества жизни страны и оздоровления нации. Статья посвящена разработке блюда «Салат с курицей, грушей и авокадо», дополнительное обогащение его клетчаткой и полиненасыщенными жирными кислотами, которые содержатся в авокадо, а также расчёт энергетической ценности блюда.

Ключевые слова: здоровое питание, авокадо, клетчатка, полиненасыщенные жирные кислоты, салат.

**EXPANSION OF THE ASSORTMENT OF DISHES
FOR HEALTHY FOOD IN THE FOOD SERVICE**

The formation of a healthy feeding culture should be the mission of restaurant facilities, as a main condition for the development of the country's quality and the sanitation of the nation. The article is devoted to the development of a dish "Salad with a chicken, pear and avocado", an additional enrichment with cellulose and polyunsaturated fatty, contained in the avocado, as well as the calculation of the energy value of the dish.

Key words: *healthy food, avocado, cellulose, polyunsaturated fat, salad.*

Дзюба Н.А.

Одеська національна академія харчових технологій

Землякова О.В.

Одеська національна академія харчових технологій

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ГІДРОЛІЗАТУ КОЛАГЕНУ З ГІДРОБІОНТІВ

Проведено аналіз сучасних технологій отримання гідролізатів колагену з рибної сировини. Виявлено, що для отримання гідролізатів колагену використовують розчини лугів, кислот та ферментні препарати. Досліджено зміну розміру білкових конгломератів для отримання гідролізату колагену з луски коропа, визначено ступінь його перетравлюваності.

Ключові слова: *гідролізат колагену, гідробіонти, гідроліз, перетравлюваність.*

Постановка проблеми. Моніторинг харчових продуктів, що споживаються в більшості країн світу, довів зростаючий дефіцит білка тваринного походження в продуктах харчування [1; 2]. Це веде до розвитку хронічних захворювань, таких як артрити й артрози суглобів, руйнування міжхребцевих дисків у хребті. Сучасні лікарські засоби в основному спрямовані на зменшення болю і підвищення рухливості суглобів. Тому медичні установи і пацієнти шукають нові методи усунення цих захворювань. Останніми роками поряд з традиційною фармакотерапією розвивається поліфармацевтика і біофармацевтика. Широке поширення набули нутріцевтичні препарати, що містять глюкозамін, гіалуронову кислоту, гідролізат колагену, хондроїтин сульфат, вітамін С та інші речовини. Промислово оброблені гідробіонти являють собою джерело білка високої біологічної цінності, який за структурою нагадує людський.

Тому створення продуктів харчування нового покоління на основі гідробіонтів, що володіють поліпшеною харчовою і біологічною цінністю, а також здатні поповнювати амінокислотний та біоенергетичний запас організму, має велике значення для задоволення зростаючого попиту на якісну продукцію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В організм людини колаген надходить з їжею після її теплової обробки. Денатурований вид колагену є лікарським і харчовим желатином. Колагенові білки і желатин під дією ферментів шлунково-кишкового тракту (ШКТ) можуть розщеплюватися до амінокислот і поліпептидів. Велика довжина молекул і фібрили колагену перешкоджає їх ефективному перетравлюванню. Гідролізати колагену, що містять набір амінокислот і поліпеп-

тидів, більш доступні для засвоєння в організмі людини. Амінокислоти гідролізатів колагену накопичуються в сполучних тканинах і клітинах. Гідролізований колаген як джерело специфічних амінокислот може бути будівельним матеріалом для біосинтезу матриксу цих тканин.

Морський колаген почали добувати зі шкіри морських риб приблизно з 70-х років ХХ століття. Багато дослідників приділяють йому особливу увагу, тому що риб'ячий колаген мінімально відрізняється від людського. І на подив, більш наближений до нього за біохімічним складом, ніж колаген великої рогатої худоби.

Відомо, що температура денатурації тваринного колагену занадто висока для проникнення в шкіру. А морський колаген більш пристосований для подібного проникнення. Крім того, він легше руйнується за низьких температур, ніж колаген тваринного походження, тому розробниками висуваються дуже суворі вимоги до організації його виробництва, транспортування та зберігання. Це зумовлює високу вартість засобів з морським колагеном [3].

Рибний колаген здебільшого належить до I і III типів, аналогічно до колагену скелетних м'язів людини. Рибний і тваринний колаген складається з субодиниць, закручених у спіраль, і має відносну молекулярну масу 300 кДа. Великий вміст гліцину і проліну є характерною особливістю амінокислотного складу колагену. Амінокислоти формують повторювану послідовність: пролін–гліцин–X, де X – інша амінокислота. Ще однією відмінною особливістю рибного колагену є більш низький вміст амінокислот (гістидин, фенілаланін, лізин, лейцин, валін, аспарагінова і глутамінова кислоти) і, як наслідок, менша кількість поперечних зв'язків,

а також трохи інший амінокислотний склад (гідроксипролін і гідроксилізин) одного з ланцюгів. Тому температура скорочення і розкладання рибного колагену нижча від аналогічної температури теплокровних тварин. Так, якщо колаген крупної рогатої худоби після нагрівання протягом 2,5 хвилини піддається желатинізації приблизно на 10%, то колаген рибного походження за тих же умов руйнується на 50–60 і до 75% [4].

Першу ефективну гідратацію колагену зі шкір прісноводних риб, використовуючи органічні кислоти, провів у 1985 році колектив хіміків з Гданська. У 1989 році вони отримали патент № 144584 на відкритий ними «Метод виробництва розчину колагену». [5]

У разі використання морських біоресурсів основне завдання полягає в розробці нових технологій розділення органічних компонентів, які пов'язані з виробництвом нових видів рибних продуктів, які можуть відповідати специфічним біологічним медико-технологічним стандартам [6; 7, с. 3217–3222].

Наявні способи обробки можуть бути широкими та класифікуються на дві універсальні технологічні схеми для отримання неспецифічного білка. Такий підхід використовується в обробці білоквмісної сировини [8; 9, с. 695–709] і виробництві рибних продуктів, включаючи гідролізати, ізоляти та концентрований білок [9, с. 695–709].

Рухливість суглобів визначається оптимальними розмірами колагенових фібрил і протеогліканів [10]. Тому тривале і систематичне застосування комплексу зі специфічних амінокислот і глікозаміногліканів у гідролізатах колагену типу II дає змогу відновити і зміцнити структуру тканин суглобів людини [11, с. 87–99].

Нутріцевтики на основі гідролізату колагену ефективно впливають як на ранній стадії хвороб суглобів, так і на їх профілактику. Хронічні хвороби розвиваються внаслідок дисплазії сполучної тканини і закладаються на ембріональній стадії розвитку і/або на етапах росту дітей і підлітків. Коктейль амінокислот колагену допомагає ослабленим дітям у зміцненні суглобної, кісткової та інших сполучних тканин [12]. За рахунок застосування нутріцевтиків з гідролізатів колагену в комплексі з глікозаміногліканами, вітамінами і катіонами металів можна стимулювати в клітинах біосинтез макромолекул і структуру з'єднувальних тканин, порушених у результаті їх нездорового стану.

Авторами [13, с. 183–189] запропоновані різні методи інтенсифікації процесу розчинення колагену – кавітація на стадії попередньої обробки

колагенмісного матеріалу і механічне перемішування на стадії розчинення в оцтовій кислоті. Для отримання чистих, незабруднених хімічними реагентами продуктів розчинення колагену, що застосовуються в медицині і харчовій промисловості, використана обробка комплексом ферментних препаратів. Отримано колоїдні розчини, які зберегли волокнисту структуру.

Актуальним завданням є отримання гідролізатів колагену з високим вмістом вільних амінокислот і поліпептидів низької молекулярної маси. Ферментативний гідроліз колагену являє необхідний етап створення нутріцевтиків ефективною дією та отримання нутрієнтів з регульованими характеристиками. Ступінь гідролізу корелює з розподіленням довжини молекулярних ланцюгів із молекулярною масою пептидів. Молекулярні параметри гідролізатів варіюють залежно від виду тварини і умов гідролізу тканини. Більш тонка шкіра риб (тріски й інших видів) сприяє отриманню гідролізатів колагену більш високого ступеня гідролізу, якщо порівнювати з гідролізатами гідробіонтів (трепангів) [14, с. 222–232; 15, с. 1836–1841; 16, с. 227–235].

В університеті Хоккайдо вченими створені штучні кровоносні судини з колагену, отриманого зі шкіри лосося. Винахід з успіхом пройшов клінічні випробування на щурах, яким замінили аорти новими штучними судинами [17].

Нещодавно з'явилися відомості про можливість отримання колагенових субстанцій з риб внутрішніх водоем [5; 18–22], які виявили деякі переваги порівняно з морськими. Зокрема, алергенність, збереження, вартість.

Рибний білок фракціонували шляхом багаторазових екстракцій гомогенної рибної сировини розчинами з поступовим підвищенням іонної сили і рН [23, с. 15–23]. Цей спосіб заснований на розчинності різних білків у сольових і лужних розчинах. Заморожені зразки розморожували за температури повітря 18°C і подрібнювали на дрібні шматочки. Шматки гомогенізували при 5000 об/хв протягом 5 хвилин. Отримали три білкові фракції, тобто водорозчинні білки (WSP), солерозчинні білки (SSP) і лужно-розчинні білки (ASP). Процес вилучення WSP проводили шляхом замочування 1 г гомогенного зразка в 10 мл 0,03 М розчину KCl. Приготований розчин витримували за температури 15°C 2 години, потім центрифугували при 4000 об/хв протягом 20 хвилин. Розчин відділяли від залишку шляхом декантації. Залишок екстрагували 5 разів 0,03 М розчином KCl (1: 5) протягом 1 години.

Вміст білка в цілій рибі становить від 12 до 14% для полярної тріски і від 16 до 19% для путасу. Вміст білка в синіх тонах філе тріски дещо вищий (15–17%), ніж у цілій рибі. Рибний потрох містить до 10–16% білка порівняно з цілою рибою. У разі нарізання полярної тріски втрати становлять близько 64% (маси), у разі синього путасу – близько 41% (маси). Це теоретично відповідає втраті 55 і 37% білків, що містяться в цілій рибі [23, с. 15–23].

Вивчено амінокислотний біопотенціал луски ляща балтійського і сардинели мароканської для використання в складі гейрів для спортивного харчування і їх гідролізатів, отриманих ферментативним і гідротермічним шляхами [24, с. 48–52]. Гідроліз проводили двома способами – ферментативним шляхом і гідротермальним під тиском. Ферментативний гідроліз проводили під дією ферменту колагенази з гепатопанкрееса краба, а також кислої і нейтральної протеаз. Отримані дані свідчать про досить високу біологічну цінність білків луски ляща (55,5%) і сардинели (62,8%). Вміст незамінних амінокислот був недостатній для повноцінного білкового харчування (10,2–95,3%), що доказало значення коефіцієнтів КРАС (44,5–37,2) і раціональності амінокислотного складу (0,20–0,41). Аналіз фракційного складу гідролізованого термічним шляхом білка луски показав, що ці суміші в основному представлені пептидами середньої і низької молекулярної маси. Так, у разі середнього режиму гідролізу фракційний склад за масою мав такий розподіл по довжині молекул: 20–50 кДа (24,6%); 10–20 кДа (22,8%); 5–10 кДа (18,2%); 1–5 кДа (13,8%). У разі сильного режиму гідротермолізу отримали суміш пептидів з переважним вмістом дрібних фракцій пептидів: 1–5 кДа (36,3%), 5–10 кДа (31,4%), 10–20 кДа (17,9%), 20–50 кДа (6,5%). Вміст оксипроліну в сумішах як індикатора глибини гідролізу склав в усіх випадках 8,64–9,20% маси луски (або 8,89–9,47% маси білка).

Показана можливість отримання колагенових дисперсій зі шкіри морських риб і їх використання в технології желейних продуктів, рублених полуфабрикатів як аналогів харчових волокон і їстівних покриттів [20].

Наведена технологія нових БАД-гейнерів у желюваній формі [25, с. 287–294], в яких як активні пептиди використані гідролізати рибної луски сардинели і ляща. Гідролізати отримані ферментативним шляхом трансформаційних змін трьох видів ферментів і гідротермічним

способом під дією високих температур під тиском. Досліджено процес ферментативного розщеплення білка під дією ферментів колагенази, кислої і лужної протеази у водному екстракті м'яти перцевої. Обґрунтовано склад БАД на основі рідкої фракції гідролізованої луски, збагаченої її непроферментованою мінералізованою фракцією, бджолиним пилюком, L-карнітином, екстрактом м'яти.

Для підвищення фізіологічної ефективності одержуваної основи БАД, а також біоконсервування гідролізованої луски проводили в 10%-ному спиртовому екстракті м'яти перцевої, яка потенційно збагачує водну фракцію гідролізату ефірними маслами, флавоноїдами, органічними кислотами та іншими БАР, у тому числі антистрессового характеру [26].

Фізіологічна дія колагену дає змогу віднести його до харчових волокон. Водночас доведено, що у разі оптимального поєднання м'язових білків і колагену показник чистого засвоєння білка максимальний [17; 27, с. 55–58]. Продукти гідролізу колагену, такі як глютин, желатин та ін., стимулюють секреторну і рухову функції шлунково-кишкового тракту, надають позитивний вплив на стан і функціонування корисної мікрофлори кишечника, тому можуть бути використані як аналог харчових волокон [27, с. 55–58].

Метою цього наукового дослідження є визначення зміни білкових конгломератів у разі лужного гідролізу луски коропа та визначення ступеня перетравлюваності отриманого гідролізату колагену.

Виклад основного матеріалу. Розроблена технологія отримання колагенового гідролізату, що полягає в послідовній обробці луски коропа лужним розчином з поступовим збільшенням рН [28, с. 107–116]. Колагеновий препарат має білий колір, не має запаху та присмаку.

Зміну білкових конгломератів на колагенмісній сировині під час гідролізу визначали за допомогою методу поляризаційної оптичної мікроскопії на мікроскопі Biomed 5P з використанням відеокамери.

Як видно на рисунку 1 а, білкові конгломерати розташовані по всій площі луски нерівномірно та мають еліпсоїдну форму. Після гідролізу 4% розчином лугу (рис. 1 б) білкові конгломерати мають шаровидну форму та розташовані рівномірно по всій поверхні, в основному розташовані в зазубринах луски. Під час гідролізу розмір білкових конгломератів зменшується в середньому в 2–2,5 раза.

У разі гідролізу луски 7% розчином лугу білкові конгломерати зменшуються в 4–5 разів порівняно з негідролізованими (рис 1 в) та мають шаровидну форму, рівномірно розподілену по всій поверхні луски.

Виходячи з того, що білкові конгломерати зменшуються в розмірі, доцільним було провести дослідження щодо зміни масово-молекулярного складу.

Для визначення масово-молекулярного складу отриманого колагенового препарату використовували електрофорез у 15%-ому поліакриламідному гелі в присутності додецилсульфату натрію. Досліджували білковий складник колагенового препарату.

Дані, отримані за допомогою електрофорезу, дали можливість стверджувати, що рибна луска має в своєму складі багато високомолекулярних білків (молекулярною масою 90,0–100,5 кДа і вище) і майже не має низькомолекулярних. Щодо гідролізату колагену, то в ньому міститься більша

кількість низькомолекулярних складників (молекулярною масою 30,7 кДа і нижче), що становить майже 56% від усіх білкових складників колагенового препарату. На частку середньомолекулярних білкових складників (молекулярною масою 45–80 кДа) припадає майже 32%.

Коефіцієнт відмінності амінокислотного складу становить 1,05%. Ступінь продуктивного використання незамінних амінокислот організмом людини як пластичного матеріалу становить 94,25%.

Ступінь перетравлюваності гідролізату колагену оцінювали за інтенсивністю гідролізу ферментами пепсином і трипсином в умовах *in vitro* (рис. 2).

Аналіз кінетики процесу ферментативного гідролізу (рис. 2) показав, що гідроліз відбувається практично з постійною швидкістю. Так, за 8 годин інкубації, що порівняно з реальними умовами перетравлювання їжі в організмі людини, гідролізат колагену перетравлюється на 66,4%.

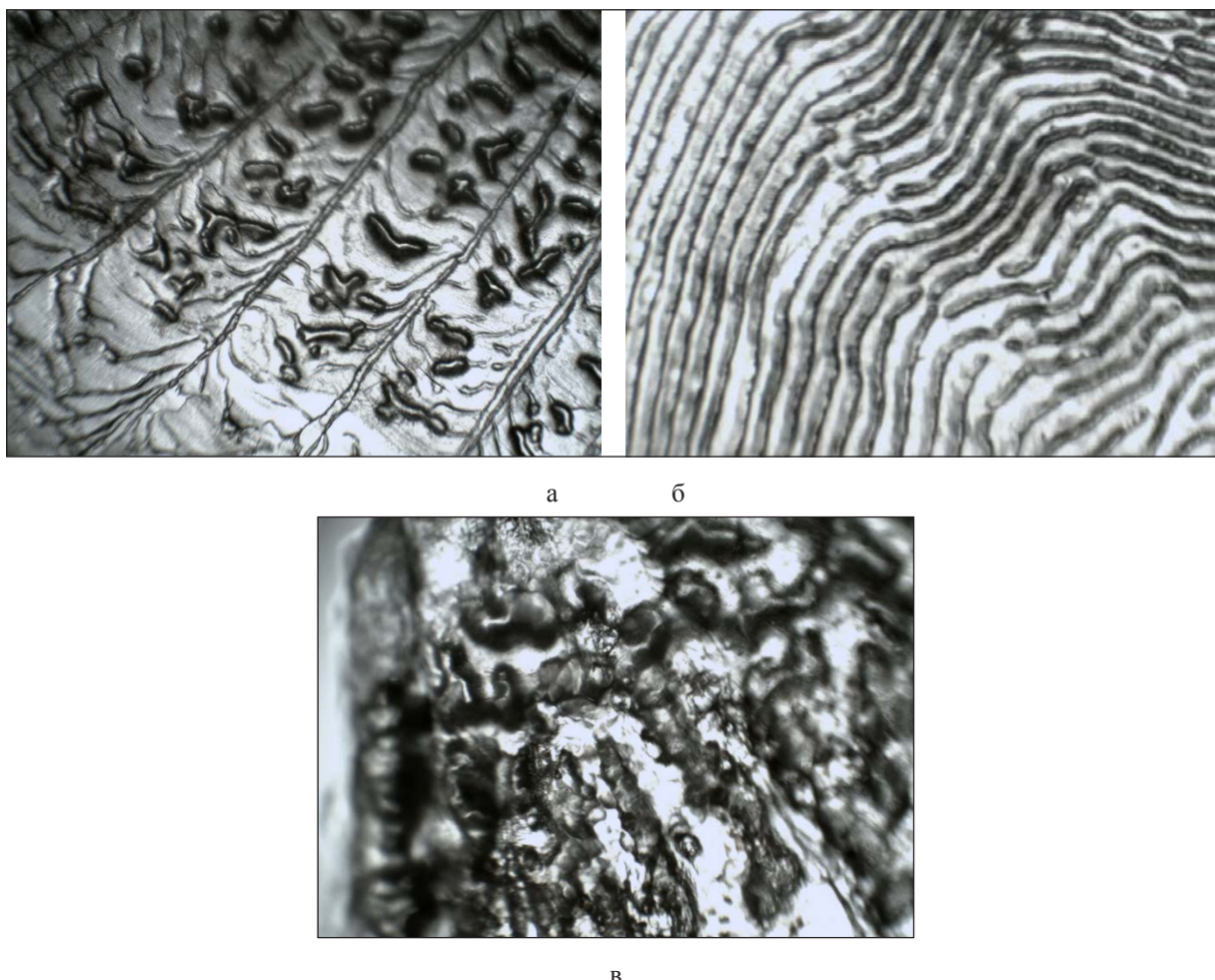


Рис. 1. Мікрофотографії зміни розміру білкових конгломератів (а – білкові конгломерати луски коропа до гідролізу (x40), б – білкові конгломерати луски коропа після гідролізу 4% розчином лугу (x40), в – білкові конгломерати після гідролізу 7% розчином лугу (x80))

Висновки. Таким чином, розробка та оптимізація способів отримання гідролізатів колагену з гідробіонтів за допомогою економічно ґрунтованих методів є актуальним завданням.

Отриманий гідролізат колагену з луски коропа характеризується вмістом білкових складників з різною молекулярною масою, що дає можливість рекомендувати його не тільки як біологічну добавку, але й як сорбційну матрицю.

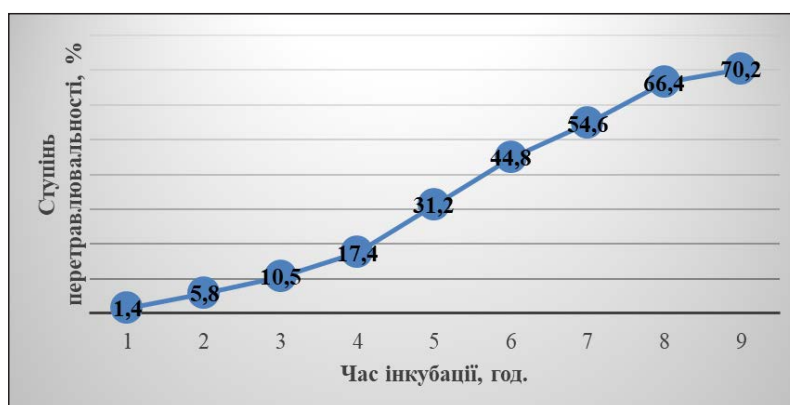


Рис. 2. Кінетика перетравлювання білків у системі «пепсин–трипсин» (*in vitro*)

Список літератури:

1. Hambraeus L. Protein and Amino Acids in Human Nutrition: Reference Module in Biomedical Sciences, 2014.
2. Shahidi F. (ed.) Maximizing the value of marine by-products. CRC Press: Boca Raton. Boston, New York, Washington DC, 2007. 375 p.
3. Различные виды коллагена. URL: <http://ru.inventiapt.com/AboutCollagen,16,Why-Native-Collagen.aspx> (дата звернення: 1.03.2019).
4. Волков Н.И., Олейников В.И. Эргогенные эффекты спортивного питания. Москва : Издательство «Советский спорт», 2012. 99 с.
5. Батечко С.А., Ледзевиров А.М. Коллаген. Новая стратегия сохранения здоровья и продления молодости. Колечково, 2010. 244 с.
6. Norms of physiological requirements in energy and nutrients for different population groups in the Russian Federation. Moscow, 2008. 41 p.
7. Zhong C., Sun Z., Zhou Z., et al. Chemical characterization and nutritional analysis of protein isolates from Caragana korshinskii Kom. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. V. 62. P. 3217–3222.
8. Stock state characteristics of fishing objects in the seas of Northern European Basin, in the Northern Atlantic, and in the Western Sector of Russian Arctic in 2014 and the possible catch forecast for 2016. Murmansk : PINRO Publ., 2015.
9. Abdollahi M., Rezaei M., Jafarpour A., Undeland I. Dynamic rheological, microstructural and physicochemical properties of blend fish protein recovered from kilka (*Clupeonella cultriventris*) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) by the pH-shift process or washing-based technology). *Food Chemistry*. 2017. V. 229. P. 695–709.
10. Багратишвили В.Н., Соболев Э.Н., Шехтер А.Б. Лазерная инженерия хрящей. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 488 с.
11. Moskowitz R.W. Role of collagen hydrolysate in bone and joint disease. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. 2000. V. 30. P. 87–99.
12. Кадурина Т.И., Горбунова В.Н. Дисплазия соединительной ткани. Руководство для врачей. Санкт-Петербург : ЭЛБИ, 2009. 704 с.
13. Полубояров В.А., Волоскова Е.В., Янковая В.В., Гурьянова Т.И. Интенсификация процесса растворения коллагена с помощью механо-химической обработки. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2009. № 2. С. 183–189.
14. Liu Z.-Y., Chen D., Su Y.-C., and Zeng M.-Y. Optimization of hydrolysis conditions for the production of the angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides from sea cucumber collagen hydrolysates. *J. Aquat. Food Prod. Technol*. 2011. V. 20. P. 222–232.
15. Liu F., Liub C., Lorenac D. et al. Evaluation of the antioxidant activity of collagen peptide additive extracted from cod skin. *J. Environ. Protect. Ecology*. 2012. V.13. P. 1836–1841.
16. Yu P., Chen H. Optimization of conditions for enzymatic production collagen hydrolysates from a long-value acaudinamolpadioides and their activites. *J. Food Biochem*. 2013. V. 38. P. 227–235.
17. Воробьев В.И. Приведены данные об использовании рыбного коллагена и продуктов его гидролиза в различных областях промышленности и хозяйства. URL: <http://d.120-bal.ru/voda/21597/index.html> (дата звернення: 07.05.2019).
18. Антипова Л.В., Сторублевцев С.А. Коллагены: источники, свойства, применение. Воронеж : ВГУИТ, 2014. 512 с.

19. Collagen from fish? Yes, it is possible. URL: <http://cebiotech.com/articles/Collagen-from-fish-yes-it-is-possible-interview-with-dr-olga-bukovskaya-and-julia-blokhina>,26 (дата звернення: 07.05.2019).
20. Дворянинова О.П. Биотехнологический потенциал рыб внутренних водоёмов: глубокая переработка и высокотехнологичные импортзамещающие производства : дис. ... док. техн. наук : 05.18.04, 05.18.07. Воронеж, 2013, 508 с.
21. Дворянинова О.П. Получение, свойства и применение коллагеновых дисперсий из кожи рыб : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04. Воронеж, 2002, 218 с.
22. Хаустова Г.А. Разработка технологий глубокой переработки рыбного шкурсырья для получения коллагена, гиалуроновой кислоты и готовых кож : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04. Воронеж, 2013, 249 с.
23. Derkach S.R., Grokhovsky V.A., Kuranova L.K., Volchenko V.I. Nutrient Analysis of Underutilized Fish Species for the Production of Protein Food. *Foods and Raw Materials*. 2017. V. 5 (2). P. 15–23.
24. Мезенова Н.Ю., Байдолинова Л.С., Мезенова О.Я. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания. *Вестник МАХ*. 2014. № 2. С. 48–52.
25. Mezenova O.Ya., Mezenova N.Yu., Baydalinova L.S. Hydrolyzates of fish scales consisting of biologically active supplements for athletes. *Izv. TINRO*. 2014. V. 177. P. 287–294.
26. Paulsen S. Review of nutritional supplements for the treatment of cartilage degeneration. URL: <http://www.paleopronow.com/image/data/Clinical-Studies/dodrops/ReviewOfNutritionalSupplementsForTheTreatmentOfCartilageDegeneration.pdf> (дата звернення: 15.03.2019).
27. Воробьев В.И. Использование рыбного коллагена и продуктов его гидролиза. *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2008. № 13. С. 55–58.
28. Кушнір Н.А. Основи технології отримання колагену з рибної колагеновмісної сировини. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*: зб. наук. праць у 2 ч. Ч. 2. Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі; / редкол.: О.І. Черевко (відпов. ред.) та ін. Харків, 2014. Вип. 1 (19). С. 107–116.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРОЛИЗАТА КОЛЛАГЕНА ИЗ ГИДРОБИОНТОВ

Проведен анализ современных технологий получения гидролизатов коллагена из рыбного сырья. Выявлено, что для получения гидролизатов коллагена используют растворы щелочей, кислот и ферментные препараты. Исследовано изменение размера белковых конгломератов при получении гидролизата коллагена из чешуи карпа, определена степень его перевариваемости.

Ключевые слова: гидролизат коллагена, гидробионты, гидролиз, перевариваемость.

OVERVIEW MODERN METHODS OF OBTAINING COLLAGEN HYDROLYZATE FROM HYDROBIONTS

The analysis of modern technologies for the production of collagen hydrolysates from fish raw materials was carried out. It was revealed that solutions of alkalis, acids and enzyme preparations are used to obtain collagen hydrolysates. The change in the size of protein conglomerates during the preparation of collagen hydrolyzate from carp scales was studied; its digestibility was determined.

Key words: collagen hydrolyzate, hydrobionts, hydrolysis, digestibility.

Кузнецова І.О.

Одеська національна академія харчових технологій

Крусір Г.В.

Одеська національна академія харчових технологій

Гаркович О.Л.

Одеська національна академія харчових технологій

Коваленко І.В.

Одеська національна академія харчових технологій

ВАЖКІ МЕТАЛИ У ДИТЯЧОМУ ХАРЧУВАННІ

Дитяче харчування може містити шкідливі компоненти, які становлять велику небезпеку для маленьких споживачів. Одними з найпоширеніших шкідливих складників дитячого харчування є важкі метали, зокрема свинець. Дослідженнями певних зразків дитячого харчування поліпшено метод визначення вмісту свинцю та інших важких металів. Залежно від концентрації свинцю можна використовувати характеристичні лінії як ультрафіолетової, так і видимої області спектру. Мікроелементи відіграють дуже важливу роль у тканинах та діяльності живих організмів. Іншими експериментами встановлено, що додаткове введення в організм одного мікроелемента змінює не лише концентрацію цього конкретного елемента, але й концентрацію інших. Порушення фізіологічної рівноваги мікроелементів призводить до змін у складних ферментативних процесах, що своєю чергою порушує структури тканинних клітин окремих органів. У зв'язку з цим необхідність подальшого вдосконалення методів визначення мікроелементів у харчових продуктах не викликає сумнівів. Особливо гостро стоїть проблема безпеки харчування для дітей, оскільки у перші роки життя детоксикаційна функція печінки у дітей не розвинена достатньою мірою.

Ключові слова: дитяче харчування, забруднення, важкі метали, свинець, цинк, мідь.

Вступ. У живих організмах важкі метали відіграють подвійну роль. У малих концентраціях вони входять до складу біологічно активних речовин, які регулюють нормальний перебіг процесів життєдіяльності. Зростання в результаті техногенного забруднення нешкідливих концентрацій важких металів призводить до негативних і навіть катастрофічних наслідків для живих організмів. Проведені дослідження належать до агроекологічного аспекту виробництва нешкідливої сировини для дитячого харчування. Під час виробництва високоякісних продуктів харчування для дітей найбільш важливою є проблема забезпечення нешкідливою сировиною. Тому необхідно проводити багаторічний моніторинг токсичних речовин у об'єктах навколишнього середовища та виявляти шляхи потрапляння їх у сировину. До таких речовин належать токсичні речовини, насамперед такі мікроелементи, як важкі метали (ртуть, кадмій, свинець, миш'як). Вони негативно впливають на стан здоров'я людей і особливо дітей раннього віку.

Літературний огляд. Дитяче харчування є промислово виробленою їжею, яка проходить

множинну обробку в процесі зміни коров'ячого молока та перетворення його на збагачений порошок. Окрім гарного складу, який задовольняє потреби дитячого організму у поживних та корисних речовинах, такі продукти можуть містити в собі також речовини, що є несприятливими та шкідливим для розвитку дітей. До них відносять важкі метали, мікотоксини, афлотоксини тощо. З'єднання металів, потрапляючи в організм, взаємодіє з рядом ферментів, пригнічуючи їхню активність. Важкі метали, особливо мідь, свинець та цинк, мають широкий токсичний вплив.

У 1972 році було створено Комітет експертів для оцінки проблеми свинцю. Потрапляючи в клітини, свинець (як і багато інших важких металів) дезактивує ферменти, уповільнює пізнавальний та інтелектуальний розвиток дітей, збільшує кров'яний тиск і викликає серцево-судинні хвороби. Свинець може замінити кальцій в кістках, стаючи постійним джерелом отруєння. Підвищений вміст свинцю в організмі дитини призводить до різних розладів, викликає нудоту, блювання, запаморочення тощо. Свинець, як токсична речовина, відомий майже 5 тисяч років

серед грецьких і арабських вчених. Свинець перешкоджає одному із ступенів біосинтезу гема, вважається найсильнішим нейротоксином, викликає підвищену агресивність. Хронічне отруєння свинцем поступово призводить до порушень функції нирок, нервової системи, анемії. Токсичність свинцю збільшується за нестачі в організмі кальцію і заліза. Коли свинець потрапляє в організм, він розподіляється між такими органами, як мозок, нирки, печінка і кістки. У тілі свинець відкладається в зубах і кістках, де він з часом накопичується. Типові ознаки хронічного отруєння свинцем – недокрів'я, кишкові кольки, темна «свинцева кайма» по краях ясен. Субклінічне отруєння людини свинцем проявляється неспецифічними симптомами: спочатку з'являється підвищена збудливість і безсоння, пізніше – стомленість і депресія. У дітей може бути пошкоджений головний мозок, що може призвести до сліпоты, глухоти або навіть летального наслідку. Органічні сполуки свинцю є ще більш токсичними [1–5].

Сполуки міді входять до групи речовин, які відіграють важливу роль у біохімічних процесах у людському організмі. Основна функція міді – стимуляція тканинного дихання та кровотворення. Купрум – єдиний елемент, що викликає ефект посилення утворення гемоглобіну та сприяє збільшенню числа еритроцитів та перенесенню йонів феруму до кісткового мозку. Дефіцит міді в організмі призводить до випадіння волосся, втрати пігментації волоссям та шкірою, частих інфекційних захворювань, шкірних висипань, нудоти, депресивних станів, анемії тощо. Однак висока концентрація купруму в організмі спричинює негативну дію, викликаючи швидке старіння, безсоння, епілепсію, розумову відсталість та відсталість загального розвитку дітей.

Цинк є фізіологічним важким металом, але життєво необхідним елементом для людини й інших тварин, рослин і мікроорганізмів. Цинк у вигляді двовалентного елемента входить до складу понад 20 ферментів. Дуже часто цинк трапляється в білках, що є факторами транскрипції. Від присутності цинку великою мірою залежить функціонування імунної системи, але надлишок цинку в організмі може призвести до загальної інтоксикації та мутацій ДНК, а також може розбалансувати метаболічні рівноваги інших металів. Розбалансування відношення «цинк / мідь» є головним причинним фактором у розвитку ішемічної хвороби серця. Надмірне споживання солей цинку може призводити до гострих кишкових отруєнь з нудотою. Отруєння цинком зазвичай викликає дратівливість, ниючі болі в м'язах, нудоту, уражаються

легені, слизова оболонка очей, порушуються смакові відчуття [3–8].

У 1996 році у США яблучний та сливовий соки “Heinz” для малюків були вилучені з продажу, оскільки містили свинець у кількостях, що перевищували норму. У 1997 році вилучено з торгових мереж 2 141 880 слоївків фірми “Gerber” із морквяним продуктом для підгодівлі малюків через завеликий вміст арсену. У 1998 році відкликано з продажу 25 760 слоївків “Heinz” із продуктом для підгодівлі немовлят також через підвищену концентрацію свинцю. У 2000 році після тривалого ігнорування приписів місцевих санітарних служб компанія “Nipp” відкликала з продажу свою дитячу суміш „NA1”. Катастрофічне перевищення вмісту важких металів у вже проданій суміші призвело до того, що компанія отримала позови від кількох десятків батьків, маленькі діти яких стали інвалідами з нирковою патологією. Проблема забруднення харчових продуктів токсичними металами також частково викликана викидом у атмосферу отруйних речовин з різних промислових виробництв [2, 8–10].

Ознайомлення з літературними джерелами показало, що, незважаючи на наявність ряду робіт з виробництва якісного дитячого харчування вітчизняних і зарубіжних авторів (С. Yang, J. Brussard, С.П. Морозова, В.А. Тутельян), дослідження саме якості дитячих молочних сумішей на цей час майже відсутні і здебільшого вони містять досить суперечливі дані [3–15].

У роботах Н.Н. Забашти, Н.В. Кулопіної, О.О. Полежаєвої подані експериментальні дані багаторічного моніторингу з накопичення важких металів у ланцюжку «грунт – продукти харчування» для розробки засобів забезпечення високої якості сировини для виробництва дитячого харчування. Вивчалися засоби запобігання накопичення важких металів шляхом додавання мінерального добрива з відомим вмістом важких металів, підбір видів і сортів харчових культур, стійких до накопичення важких металів.

У роботі С.Ф. Тютікова наведений аналіз розповсюдження важких металів у біологічних об'єктах та навколишньому середовищі, та запропоновані шляхи зниження доступу важких металів з ґрунту до рослини. Було вивчено зв'язок між підвищенням рівня рН ґрунту та зниженням біогенної акумуляції хімічних елементів, застосування імунокоректорів.

Ю.А. Потатуєва, Н.К. Сидоренко, Є.Г. Прищеп вивчали значення домішок важких металів у добриві. Було вивчено взаємодію цинку і кадмію,

що має адитивний характер, тобто присутність одного елемента знижує кількість іншого.

Т.К. Кузнецова, А.Ф. Глазов, Н.В. Кульпина та інші вивчали ґрунти з малим вмістом рухомих форм кадмію ($<0,05$ мг/кг). Було отримано накопичення важких металів в кількостях, що не перевищували ГДК за Cd – 2 мг/кг, Hg – 0,01 мг/кг, As – 0,5 мг/кг.

С. Yang та співавтори проводили дослідження з виявлення активації кадмієм процесів перехресного окислення ліпідів в культурі фібробластів легень, причому антиоксидантні ферменти стримували цю активацію.

Основна частина. Дослідження вмісту важких металів в дитячих сумішах. Повністю виключити потрапляння хімічних речовин у навколишнє середовище неможливо. Неминучість цього явища у зв'язку з очевидним несприятливим впливом практично всіх таких чинників на організм дітей вимагають заходів, що допоможуть обмежити вміст токсичних речовин у зовнішньому середовищі. Сьогодні під гранично допустимими концентраціями речовин розуміють таку концентрацію, вплив якої може викликати захворювання або шкоду здоров'ю сьогодишніх та наступних поколінь. Дослідження таких гранично допустимих концентрацій проводять сучасними методами досліджень, що є завданням даної роботи.

Матеріали і методи. Для дослідження використовували суміші № 2 для вікової дитячої категорії від 6 місяців до 1 року. Оскільки асортимент такої продукції є чималим, було охоплено лише деякі торгові марки. Тестували сухі суміші українського виробництва – «Малятко Premium 2»; з Республіки Білорусь – «Беллакт 2»; дві дитячі суміші з Польщі – «Nutricia Малюк Істринський 2» та „Nutricia Милура 2”, дві марки зі Швейцарії – „Nestle NAN Optipro 2” та „Nestle Nestogen 2”, а також один зразок із Німеччини – „Hipp organic 2”. Всього 7 зразків.

Для швидкого визначення свинцю у продуктах без зниження точності було використано метод, в основу якого було покладено емісійний спектральний аналіз за допомогою широко застосовуваних у промисловості та лабораторних дослідженнях спектрографів ІСП-28 та ІСП-30, але межі виявлення понижено порівняно з раніше застосовуваною методикою [7].

З молочної суміші, призначеної для аналізу на свинець, відбирали наважки по 100 – 200 г та надавали спалюванню (ГОСТ 26929-86). Відпрацьовували методику на зразках, у яких свинець був прак-

тично відсутній. До золи додавали плюмбум (Pb) ацетат. Залишки було розведено та фотометровано.

Зазначений метод можна використовувати також для визначення кількості купруму та цинку.

Визначення мікроелементів у молочній суміші проводилось за допомогою методу атомно-адсорбційної спектроскопії з використанням спектрофотометра «Сатурн-2».

Метод базується на розпорошенні розчину мінералізованої проби, що досліджується у повітряно-ацетиленовому полум'ї. Метали, що знаходяться у розчині мінералізату, потрапляючи у полум'я, переходять до атомізованого стану. Величина адсорбції світла з довжиною хвилі, що відповідає резонансній лінії, пропорційна величині концентрації металу у досліджуваній пробі. Визначення вмісту елементів у досліджуваних розчинах проводили методом градувального графіка, який будували за значеннями атомної адсорбції розчинів із заданими концентраціями.

Отже, аналіз одного зі зразків дитячого молочно харчування виявив перевищення норми вмісту важких металів від 15 до 220%. Під час досліджень вдосконалено методику визначення вмісту свинцю. Залежно від концентрації свинцю можна використовувати характеристичні лінії як ультрафіолетової, так і видимої області спектру.

Готували суміші та зразки у порцеляновому посуді та порцеляновим товкачиком або лопаточкою з метою уникнення потрапляння свинцю, що міститься у склі.

Із золи суміші без свинцю приготували зразки: № 1 – із кількістю свинцю $C_x + 0,001\%$ (використано у якості зразку з невідомою концентрацією для відпрацювання методики); № 2, № 3, № 4 – із вмістом свинцю $(C_x + 0,01)\%$, $(C_x + 0,1)\%$, $(C_x + 1)\%$ відповідно. Одержані зразки спалювали у дузі змінного струму (сила струму ~ 5 А); електроди вугільні спектрально чисті, фотопластинки спектральні – тип І.

Виділено лінії свинцю з довжинами хвиль $\lambda = 283,31$ нм і $\lambda = 405,78$ нм та поруч із ним лінії золи суміші із $\lambda = 282,4$ нм та $\lambda = 408,0$ нм, а також дублет із $\lambda = 404,4$ нм та $\lambda = 404,6$ нм. Лінія золи суміші з 282,4 нм слугує порівнянням чи гомологічною із лінією свинцю ($\lambda = 283,31$ нм). Ця область є дуже зручною для роботи, оскільки поруч немає інших смуг, що ускладнюють фотометрування. Але, якщо концентрація свинцю в досліджуваному зразку золи менша за 0,001%, працювати краще у видимій області та використовувати для цієї речовини $\lambda = 405,78$ нм, а у якості ліній порівняння – $\lambda = 408,0$ нм або

$\lambda = 404,4$ нм. У цій області розташовано лінії вуглецю та смуги угруповань CN. Однак на їхньому фоні досліджувані смуги простежуються чітко.

Результати та їх обговорення. За допомогою мікрофотометра МФ-2 визначено почорніння S смуг і побудовано графік (рис. 1) залежності різниці почорнінь ($\Delta S = S_{\text{нор}} - S_{\text{pb}}$) лінії порівняння $S_{\text{нор}}$ та лінії свинцю від логарифму його концентрації ($\lg C$).

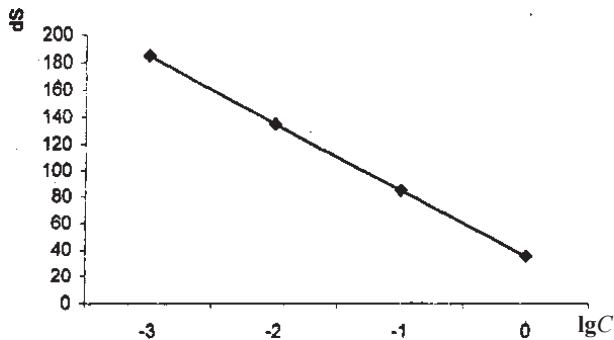


Рис. 1. Залежність різниці почорнінь ліній (dS) порівняння $\lambda = 285,5$ нм та аналізованої лінії свинцю ($\lambda = 283,31$ нм) від логарифму концентрації свинцю у золі молочної суміші.

В області нормальних почорнінь, коли $40 < S < 200$, спостерігається пряма пропорційна залежність ΔS від $\lg C$.

Аналізом подібних трикутників на рис. 1 виведено формулу для знаходження невідомої концентрації C_x , за двома відомими концентраціями свинцю – $C_1 = 0,01\%$, $C_2 = 0,1\%$, доданого у випробовуваний зразок:

$$\lg C_x = \frac{(\Delta S_x - \Delta S_2) \lg C_1 - (\Delta S_x - \Delta S_1) \lg C_2}{\Delta S_1 - \Delta S_2},$$

де $\Delta S_x = S_{\text{нор}} - S_{\text{pb}}$ – різниця між почорнінням лінії порівняння та лінії свинцю, $\Delta S_1 = S_{\text{нор}} - S_1$, $\Delta S_2 = S_{\text{нор}} - S_2$ – різниці почорнінь між лініями порівняння та лініями свинцю зразків, що містять свинець із концентраціями $(C_x + C_1)\%$, $(C_x + C_2)\%$ відповідно.

У розглянутому прикладі лінія порівняння завжди мала більше почорніння у співставленні з лінією свинцю, тому перевірили випадки ($C_x = 1\%$), коли $S_{\text{нор}}$ було менш інтенсивним, ніж почорніння лінії свинцю $\Delta S = S_{\text{pb}} - S_{\text{нор}}$, та коли ($C_x = 0,05\%$) було порівняним за інтенсивністю з S_{pb} , тоді ΔS набувала як додатних, так і від'ємних значень. Виявилось, що запропонована формула є справедливою в усіх випадках і для встановлення

концентрації C_x достатньо зробити два зразки з відомими додатковими концентраціями свинцю, тобто $(C_x + C_1)\%$, $(C_x + C_2)\%$.

Для виявлення концентрації C у продукті проводиться перерахунок: $C = (C_x \cdot m_1) / m_2$ (%), де m_1 – маса золи, m_2 – маса продукту.

Час, затрачений на визначення концентрації свинцю в одному продукті, починаючи зі зважування золи та складання заданих концентрацій, не перевищує 2–3 години, тобто у 2–3 рази менший, ніж за ГОСТ 26932-86.

Результати досліджень вмісту важких металів у досліджуваних сумішах наведені у таблицях 1–7.

Таблиця 1

Вміст мікроелементів у молочній суміші «Малютко Premium 2»

Хімічний елемент	ГДК, мг/кг	Вміст мікроелемента у суміші, мг/кг	Надлишок вмісту мікроелемента мг/кг
Купрум (Cu)	0,5	0,57	0,07
Цинк (Zn)	5	5,45	0,45
Плюмбум (Pb)	0,05	0,13	0,08

Таблиця 2

Вміст мікроелементів у молочній суміші «Беллакт 2»

Хімічний елемент	ГДК, мг/кг	Вміст мікроелемента у суміші, мг/кг	Надлишок вмісту мікроелемента мг/кг
Купрум (Cu)	0,5	0,55	0,05
Цинк (Zn)	5	5,20	0,20
Плюмбум (Pb)	0,05	0,1	0,05

Таблиця 3

Вміст мікроелементів у молочній суміші «Nutricia Малюк Істринський 2»

Хімічний елемент	ГДК, мг/кг	Вміст мікроелемента у суміші, мг/кг	Надлишок вмісту мікроелемента мг/кг
Купрум (Cu)	0,5	0,5	0,0
Цинк (Zn)	5	5,1	0,1
Плюмбум (Pb)	0,05	0,05	0,00

Висновки. Отже, результати досліджень виявили, що у дитячих молочних сумішах від різних виробників вміст важких металів не дуже відрізняється від норми, за виключенням сухої суміші «Малютко Premium 2»

Таблиця 4

Вміст мікроелементів у молочній суміші „Nutricia Milupa 2”

Хімічний елемент	ГДК, мг/кг	Вміст мікроелемента у суміші, мг/кг	Надлишок вмісту мікроелемента мг/кг
Купрум (Cu)	0,5	0,49	-0,01
Цинк (Zn)	5	4,9	-0,1
Плюмбум (Pb)	0,05	0,05	0,00

Таблиця 6

Вміст мікроелементів у молочній суміші „Nestle Nestogen 2”

Хімічний елемент	ГДК, мг/кг	Вміст мікроелемента у суміші, мг/кг	Надлишок вмісту мікроелемента мг/кг
Купрум (Cu)	0,5	0,5	0,0
Цинк (Zn)	5	4,95	-0,05
Плюмбум (Pb)	0,05	0,049	-0,001

Таблиця 5

Вміст мікроелементів у молочній суміші „Nestle NAN Optipro 2”

Хімічний елемент	ГДК, мг/кг	Вміст мікроелемента у суміші, мг/кг	Надлишок вмісту мікроелемента мг/кг
Купрум (Cu)	0,5	0,5	0,0
Цинк (Zn)	5	5	0,0
Плюмбум (Pb)	0,05	0,05	0,00

Таблиця 7

Вміст мікроелементів у молочній суміші „Hipp organic 2”

Хімічний елемент	ГДК, мг/кг	Вміст мікроелемента у суміші, мг/кг	Надлишок вмісту мікроелемента мг/кг
Купрум (Cu)	0,5	0,5	0,0
Цинк (Zn)	5	5	0,0
Плюмбум (Pb)	0,05	0,05	0,00

Список літератури:

1. Buialska N., Denisova N., Kupchik E. Problem of accumulation of heavy metals in medicinal plants. *Canadian scientific journal*, 2015. 2. P. 13–19.
2. Сульдина Т.И. Содержание тяжёлых металлов в продуктах питания и их влияние на организм. *Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы*. 2016. № 1. С. 136–140. URL: <http://www.journal-nutrition.ru/ru/article/view?id=35727> (дата обращения: 09.02.2019).
3. Забашта Н.Н., Кульпина Н.В. Накопление тяжелых металлов в кормах. Научные основы повышения продуктивности сельскохозяйственных животных. *Сборник научных трудов 4-й международной научно-практической конференции*, Ч. 2, Краснодар, 2011. С. 112–113.
4. Wang G, Fowler B. Roles of biomarkers in evaluating interactions among mixtures of lead, cadmium and arsenic. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2008. 233(1). P. 92–99
5. Flora S, Flora G, Saxena G. Environmental occurrence, health effects and management of lead poisoning. In: Cascas SB, Sordo J, editors. *Lead: Chemistry, Analytical Aspects, Environmental Impacts and Health Effects*. Netherlands: Elsevier Publication, 2006. P. 158–228.
6. Оценка риска здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих пищевые продукты. Инструкция по применению. Ф.А. Германович, П.А. Амвросьев, И.А. Просвирякова, К.П. Новиковская, В.В. Клыпа, М.М. Мазик. Минск, 2008.
7. Losev V.N., Maznyak N.V., Verkhoturova A.P. Electrothermal Atomic Absorption Determination of Lead Soluble Forms Extracted by Phosphate Buffer Solution in Biological Samples. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry* 3, 2016.
8. Фролова Т.В., Коломенський В.М., Терещенкова І.І., Стенкова Н.Ф. Принцип харчування здорової дитини раннього віку: навч. посіб. для студ. мед. вузів з англ. мовою навч. Харків : Регіон-інформ, 2004. 100 с.
9. Про дитяче харчування : Закон України від 14.09.2006 р. № 142-V. Відомості Верховної Ради України. 2006. № 44. Ст. 433.
10. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды. Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 1 (23). С. 182-192
11. Kim K.R., Kim J.G., Park J.S., Kim M.S., Owens G.R, Youn G.H, Lee J.S. Immobilizer-assisted management of metal-contaminated agricultural soils for safer food production. *J Environ Manage*. 2012. 102. P. 88–95.
12. Чубирко М.И., Басова Г.М., Степанова Н.Н. Биомониторинг тяжелых металлов в слюне. Гигиена и санитария. 2005. № 2. С. 66–67.
13. Stern B.R. Essentiality and toxicity in copper health risk assessment: overview, update and regulatory considerations. *Toxicol Environ Health A*. 2010. 73(2). P. 114–127

14. Beyersmann D., Hartwig A. Carcinogenic metal compounds: recent insight into molecular and cellular mechanisms. Arch Toxicol. 2008. 82(8) P. 493–512.

15. Satarug S., Baker J.R., Urbenjapol S., Haswell-Elkins M., Reilly P.E., Williams D.J., et al. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. Toxicol Lett. 2003. P. 137:65–83.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДЕТСКОМ ПИТАНИИ

Детское питание может содержать вредные компоненты, которые представляют большую опасность для маленьких потребителей. Одними из самых распространенных факторов являются тяжелые металлы, в частности свинец. Исследования определенных образцов детского питания проводились по улучшенному методу определения содержания свинца и других тяжелых металлов. В зависимости от концентрации свинца, можно использовать характерные линии как ультрафиолетовой, так и видимой области спектра. Микроэлементы играют очень важную роль в тканях и деятельности живых организмов. Другими экспериментами установлено, что дополнительное введение в организм одного микроэлемента меняет не только концентрацию данного элемента, но и концентрацию других. Нарушение физиологического равновесия микроэлементов приводит к изменениям сложных ферментативных процессов, что в свою очередь нарушает структуры тканевых клеток отдельных органов. В связи с этим необходимость дальнейшего совершенствования методов определения микроэлементов в пищевых продуктах не вызывает сомнений. Особенно остро стоит проблема безопасности питания для детей, так как в первые годы жизни детоксикационная функция печени у детей не является развитой.

Ключевые слова: *детское питание, загрязнение, тяжелые металлы, свинец, цинк, медь.*

HEAVY METALS IN BABY FOOD

Baby food can contain harmful ingredients than form a great danger for small consumers. One of the most commonly used factors is heavy metals, in particular lead. The research of certain samples of baby food has improved the method of determining the content of lead and other heavy metals. Depending on the lead concentration, you can use the characteristic lines of both the ultraviolet and visible spectral region. Microelements play a very important role in the tissues and activities of living organisms. Other experiments have shown that the addition of one microelement to the body changes not only the concentration of this element, but also the concentration of other. Violations of the physiological balance of trace elements lead to changes in complex enzymatic processes, which in turn violates the structures of tissue cells of individual organs. In this regard, the need for further improvement of the methods for the determination of trace elements in food products is beyond doubt. Particularly the problem of food safety for children, since in the first years of life, the detoxification function of the liver in children is not developed.

Key words: *baby food, pollution, heavy metals, lead, zinc, copper.*

UDC 636.085.55:[633.35:661.155.2]:577.217
 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/16>

Makarynska A.V.
 Odessa National Academy of Food Technologies

Turpurova T.M.
 Odessa National Academy of Food Technologies

EFFICIENCY OF THE USE OF VEGETABLE PEA CONCENTRATE IN MIXED FODDER'S OF YOUNG PIGS

It has been established that the introduction of vegetable pea concentrates into the composition of mixed fodder's does not affect the change in the physical properties of bulk mixed fodder's. Biological evaluation carried out on laboratory animals showed that mixed fodder's using vegetable pea concentrate has high biological value. The use of vegetable pea concentrate as an alternative to an expensive source of protein, fish meal, helps to maintain the growth rate of animals and reduce the cost of compound fodder's.

Key words: peas, quality, concentrate, extrusion, feed, pea protein, amino acid.

Introduction. The need for high-grade protein is increasing due to the accelerated development of industry, the production of broilers, meat and bacon pork, as well as the intensive fattening of young cattle.

Most feed mills are trying to reduce the cost of the finished feed by replacing some components without losing the balance of the finished product by optimizing the feed recipe. At the same time, the main critical points in the calculation of compound feed recipes are their balancing in terms of crude protein content and metabolizable energy. There are several ways to provide animal rations with protein (Fig. 1).

Currently, the production of various types of feed meal of animal origin in Ukraine has decreased dramatically due to the reduction of livestock of farm animals and poultry, as well as the introduction of resource-saving technologies for processing animal raw materials into food [1, p. 101].

Today, the feed market has fish meal substitutes, fake fish meal, as well as flour with increased bacte-

rial contamination, which can lead to deterioration of feed or the production of poor quality products.

At the same time, according to the Law of Ukraine No. 2264-VIII dated December 21, 2017 “On safety and hygiene of feed”, the use of feed of animal origin is prohibited, therefore, the use of vegetable protein concentrates (VPC) in feeds is relevant. VPC allow you to achieve the desired balance of crude protein, as well as a certain ratio of essential amino acids in the feed.

Depending on the degree of protein purification, its concentration after the enzymatic treatment, different types of protein products are obtained. So:

- if the protein concentration in the hydrolyzed product is 50%, it is called the hydrolysate;
- at a concentration of 70–75% – the concentrate;
- at a concentration over 75% – the protein isolate.

The need for hydrolysis is due to the presence in the raw material of a special type of protein – keratin, which is a chemically resistant, hard-to-digest substance [2, p. 34].

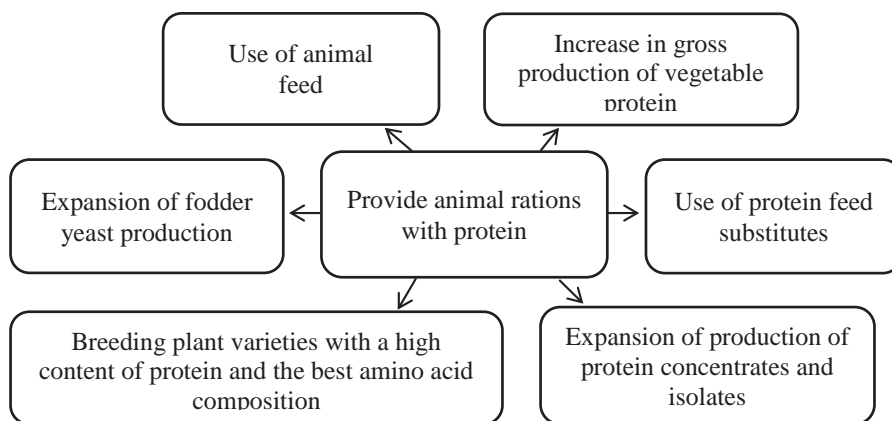


Fig. 1. Ways to provide animal rations with protein

The main raw materials for the production of VPC are leguminous crops – soybeans, peas, chickpeas, which give much more protein per unit of area compared to cereals and one of the cheapest vegetable proteins [3; 4, p. 16; 6, p. 7; 6, p. 76; 7].

Table 1

Norms of the introduction of high-protein raw materials in feed for feeding farm animals [3]

Types of animals	Norms of introduction to compound feed,%			
	Peas	Soy-bean meal	Meat and bone meal	Fish meal
Young birds of an agricultural bird	0...10	0...20	0...4	2...10
Adult poultry	0...12	0...15	0...7	0...7
Small Pigs	0...10	0...15	0	2...6
Pigs	0...20	0...10	0...5	0...4
Cattle	0...20	0...25	0...3	0

Analysis of recent research and publications.

Over the past five years, Ukraine has seen an increase in acreage and pea production. Growing peas is attractive, the ability to restore soil fertility and the profitability of this crop is 55%. Pea grain is an excellent source of protein, which has a high solubility (the amount of water- and salt-soluble fractions reaches 90%). Depending on the variety and pea cultivation technology, the protein content is 21-27% [8, p. 2568; 9, p. 19; 10].

The biological value of pea protein depends on its amino acid composition, the presence of methionine, cystine, tryptophan and threonine. With the introduction of peas in the feed must pay attention to the amount of sulfur-containing amino acids – methionine and cystine. This is due not only to the presence of trypsin inhibitors (pancreatic enzyme), which reduces the rate of separation of amino acids from the protein molecule, mainly methionine. The amount of enzymes – trypsin inhibitors – in the pea grain is in the range from 3 to 18.2 g / kg, depending on the variety [8, p. 2568].

All anti-nutritional substances contained in pea grains are partially destroyed by heat treatment, although to varying degrees, depending on the treatment regimens [1, p. 101; 12, p. 621].

A known technology for the production of feed protein products from green mass of legumes. The green mass of peas after mowing and grinding is fed to the press in presses, and then coagulated to obtain a protein paste, which is then sent for drying. Pro-

tein paste from green peas contains 44–65% of crude protein, 2–4% fat, 4–7% fiber, used in feeding young farm animals [11].

The most effective is the use of roasted peas in the composition of animal feed for ruminants and extruded peas in the composition of animal feed for pigs, especially piglets [2, p. 34; 7]. Golushko V. and Golushko A. in their research compared various methods of heat treatment of pea grain. It was found that after extruding pea grain, the content of trypsin inhibitors decreased by 19.7%, and that of chymotrypsin, by 28.1%. Granulation made it possible to reduce these figures by 18.2 and 27.5%, respectively. Thus, only extrusion most improves the feed value of pea grains [8, p. 2568].

Recently, pea protein appeared on the world market, which meets the technological requirements for isolates [13, p. 47; 14]. Pea protein is a type of protein supplement, which is obtained from ordinary peas according to the technological scheme presented in fig. 3 [19, p. 24]. Pea protein is a pea protein isolate with a protein content of up to 90 %. It has many advantages in comparison with other vegetable proteins:

- functional ingredient – has water and fat binding properties;
- safe – the vegetable origin of the protein is easily identified, does not contain genetically modified organisms;
- useful – is a concentrated source of easily digestible protein and its amino acid composition is close to the “ideal protein”;
- technological – due to the granular form of the product, the formation of dust, foam and lumps during the production process is reduced.
- has a neutral taste.

Today, pea protein is used in the meat, fish, dairy, oil and fat and confectionery industries [15, p. 110; 16, p. 20; 17, p. 22]. Pea protein, namely pea insulated protein NUTRALYS®, is used in meat processing plants.

NUTRALYS® pea insulated protein is produced by ROQUETTE at a pea processing plant in Northern France.

Pea insulated protein is added during the preparation of minced meat in hydrated form, replacing a certain amount of lean meat raw materials. The results of the studies indicate the feasibility of using pea protein in the production technology of boiled sausages [16, p. 20].

Pisane® Pea Protein Isolate, a natural, highly purified plant vegetable derived from the seeds of traditional traditional yellow peas, is produced in

Tabl. 2

**Organoleptic and physical-chemical indicators
VPC NUTRALYS®**

Name of indicator	Content, characteristics and value of indicators
Organoleptic characteristics	
Appearance, shape and particle size	Fine flour without lumps, 90 % of particles less than 38 microns.
Taste, smell	Sweetish with a faint taste and smell inherent in the original raw materials
Colour	Light-yellow inherent in raw materials
Physical and chemical indicators	
Moisture content, %	8,15
Mass fraction of protein, % on c.d.s.*	54,78
Mass fraction of fiber, % on c.d.s.	3,05
Fat content, % on c.d.s.	3,85
Mass fraction of ash, % on c.d.s.	5,00
Mass fraction of fiber, % on c.d.s.	1,50
Mineral impurities	No

* c.d.s. – completely dry substance

Belgium by Cosucra Groupe Warcoing. Due to its high nutritional value, digestibility and lack of contraindications, Pisane® is used in the production of specialized types of food (sports, dietary), as well as in the production of fortified and vegetarian products. Pea protein can replace up to 50% caseinate in the production of cheese products [18].

Pea protein satisfies almost all of the requirements for the protein standard amino acid composition [19, p. 24]. The use of pea protein in the production of feed products is a very promising direction. Replacing flour of animal origin with pea protein in animal feed will significantly reduce the import of this raw material, reduce the cost of the finished feed.

The purpose of the work is to study the effectiveness of the use of pea concentrate in the production of extruded pig feed.

Objectives of the study:

- to analyze and characterize the existing methods of preparing peas in the production of animal feed, as well as vegetable pea concentrates (VPC);
- to investigate the physical-chemical properties of the VPC;

Table 3

Recipes feed for young pigs 2–4 months old

Component	Content, %		
	Control recipe 1	Recipe 2	Recipe 3
Wheat	20,00	9,50	10,00
Barley without films	9,35	40,00	39,30
Oat without films	30,00	20,00	19,00
Corn	6,40	-	-
Wheat bran	5,00	10,00	10,00
Sunflower meal CII 30%, CK 20%	11,00	4,90	6,55
Soybean meal CII 40%, CK 18%	10,00	8,00	7,00
Fish flour	4,91	-	-
Crushed peas	-	4,97	-
PVC	-	-	5,00
Lysine monohydrochloride 98%	0,09	0,18	0,18
Table salt	0,19	0,25	0,23
Chalk feed	0,13	1,20	1,20
Tricalcium phosphate	0,98	-	0,54
Limestone flour	0,95	-	-
Premix П52-1 [25]	1,00	1,00	1,00
Nutritional value			
OE pigs Mj	13,5	13,5	13,5
Feed units	120,0	118,5	120,0
Crude protein	19,02	18,81	19,13
Crude fiber	5,01	5,05	5,00
Lysin	0,99	0,98	0,99
Metionin	0,36	0,38	0,35
Metionin+Cys	0,72	0,73	0,72
Ca	0,80	0,80	0,80
P	0,60	0,60	0,60
NaCl	0,30	0,40	0,30

- calculate recipes for complete feed using VPC;
- to develop technological methods for the introduction of VPC in the production of animal feed;
- to determine the physical properties of compound feeds using VPC;
- to evaluate the biological effectiveness of VPC.

Results of research and discussion. In this work, NUTRALYS® VPCs were used, for which the physicochemical properties were studied, the results of the studies are presented in Table. 2.

The study of the physical properties of VPC allows you to choose the right conditions and storage modes, technological modes of preparation of raw materials,

Tabl. 4

Physical properties of extruded feed for young pigs aged 2–4 months

Indicator Value	Meaning		
	Recipe 1	Recipe 2	Recipe 3
Appearance	Homogeneous dry mix no lumps and mold		
Smell, color	Characteristic of the set of components		
Mass fraction of moisture, %	11,5	11,4	11,2
Angle of repose, hail	45	45	45
Flowability, cm / sec	3,12	3,25	3,18
Bulk density, kg / m ³	460	455	458
The modulus of size, mm	1,56	1,60	1,52

the angle of gravity, the design and the angle of the bottom of the bunkers.

If you're introducing VPC into combined feed:

- preparation of mineral raw materials and meals;
- through the composition of the protein-vitamin supplements, protein-vitamin-mineral supplements;
- on the line of extrusion of leguminous crops;
- on the line of extrusion of ready loose feed;
- as a filler on the premix production line [20].

In order to reduce the cost and increase the productive effect of animal feed for farm and domestic animals, we propose the replacement of fish meal in recipes at the PVC, as well as the production of animal feed in extruded form. Taking into account the need for nutrients were calculated and optimized using the software complex KormOptimaExpert (Voronezh), recipes of feed for repairing young pigs (Tabl. 3).

According to the calculated recipes, experimental batches of extruded feed were produced. For the obtained feeds, the main physical indicators were studied: mass fraction of moisture, angle of repose, bulk weight, flowability, size. The research results are presented in Tabl. 4.

As can be seen from the data, the replacement in the recipe for young pigs aged 2–4 months. Fish meal on crushed peas or VPC does not significantly affect the performance of the physical properties of bulk feed. Thus, loose feed for young pigs using RGC is characterized by satisfactory physical properties.

The total nutritional value of compound feeds using RGCs was determined using a biological assessment, which is characterized by the final product of feeding, i.e. full-fledged, productive action – improving the physiological state of animals, increasing average daily weight gain and reducing feed costs.

To conduct a biological assessment of the effectiveness of animal feed, an in vivo experiment was conducted on laboratory animals. To do this, on the basis of the laboratory of biochemistry of the Institute of Dentistry of the Academy of Medical Sciences of Ukraine, two groups of white laboratory rats with an average live weight of 230 g were formed. The duration of the experiment was 14 days.

The productive effect of compound feed was evaluated by the average daily weight gain of rats and the conversion of feed. The research results are presented in Fig. 2 and Fig. 3.

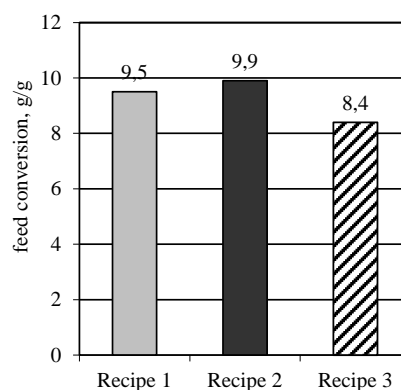


Fig. 2. Average daily gain of rats of the control and experimental groups

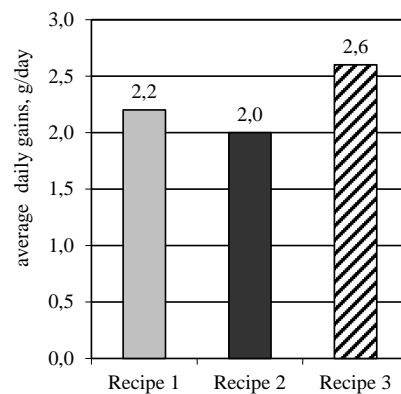


Fig. 3. Conversion of feed in the control and experienced groups

The average daily weight gains of rats in the control group were 2.2 g / day, and in the experimental group receiving feed according to the recipe of 3 – 2.6 g / day, which is 18.2% more than in the control, respectively.

The cost of feed per 1 gram of increase in live weight of rats in the control group was 9.5 g / g, and in the experimental group – 8.4 g / g, which is 11.6% less than in the control group.

Thus, the obtained results indicate a high biological efficiency of the use of RGC in the diets of pigs.

Conclusions. The use of vegetable proteins can solve the problem of protein deficiency in the production of animal feed products. Analysis of the cost of “raw” protein and the amino acid composition of the s compared with other protein types of feed raw materials is economically beneficial in the production of animal feed.

Defined quality indicators of feed on the physical-chemical parameters. It has been established that the introduction of VPCs into the composition of mixed feeds does not affect the change in the physical properties of bulk mixed feeds.

Biological evaluation carried out on laboratory animals showed that mixed feed using VPC has high biological value, since the average daily increase in live weight in the experimental group was 18,2% higher than in the control group; the cost of compound feeds for the increase in live weight in the experimental group was 11,6% less than in the control group.

The use of VPCs as an alternative to an expensive source of protein, fish meal, helps to maintain the growth rate of animals and reduce the cost of compound feed.

References:

1. Martens S.D., Tiemann T.T., Bindelle J., Peters M., Lascano C.E. Alternative plant protein sources for pigs and chickens in the tropics – nutritional value and constraints: a review. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 2012. V. 113. №2. P. 101–123.
2. Макаринська А.В., Чернега І.С., Оганесян А.А. Переваги використання білкових рослинних концентратів при виробництві комбікормової продукції. *Зернові продукти і комбікорми*. 2018. № 3 (71). С. 34-39. DOI: 10.15673/gpmf.v18i3.1077.
3. Єгоров Б.В. Технологія виробництва комбікормів. Одеса : Друкарський дім, 2011. 448 с.
4. Burstin J., Duc G. Protein content and protein composition of pea seeds. The relationship between protein content and protein composition of pea seeds. *Grain Legumes*, 2006. V. 44. P. 16–17
5. Кудинов П.И., Щеколдина Т.В., Слизьякая А.С. Современное состояние и структура мировых ресурсов растительного белка. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2012. № 5–6. С. 7–10.
6. Єгоров Б.В. Повышение эффективности использования кормового потенциала зерна при производстве комбикормовой продукции / Б.В. Єгоров, Т.М. Давиденко. *Наукові праці ОДАХТ*. Одеса, 2007. Вип. 30, т. 2. С. 76–79.
7. Єгоров Б.В. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбікормів для сільськогосподарських тварин Б.В. Єгоров, Т.М. Давиденко. *Корми і кормовир-во : міжвідом. темат. наук. зб. Ін-ту кормів УААН. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135–140.*
8. Stein N.H., Benzoni G., Bohlke R.A., Peters D.N. Assessment of the feeding value of South Dakota-grown field peas (*Pisum sativum* L.) for growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2004. V. 82. №9. P. 2568–2578. DOI: 10.2527/2004.8292568x.
9. Jansman A.J.M. Bioavailability of protein single gumeseds. *Grain Legumes*, 1996. № 11. P.19.
10. Экспертиза кормов и кормовых добавок : учеб.-справ. пособие / Мотовилов К.Я. та ін. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2004. 303 с.
11. Петрухин И.В. Корма и кормовые добавки : Справочник. Москва : Росагропром-издат, 1989. 526 с.
12. Grosjean F., Bastianelli D., Bourdillon A., Cerneau P. Feeding value of pea (*Pisum sativum*, L.) 2. Nutritional value in the pig. *Animal Science*. 1998. V. 67. №3. P. 621-625. DOI: 10.1017/S1357729800033063
13. Бобков С.В., Уварова О.В. Перспектива использования гороха для производства изолятов запасных белков. *Земледелие*, 2012. С. 47–48.
14. Компанцев Д.В., Попов А.В., Привалов И.М., Степанова Э.Ф. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых изолятов из растительного сырья. *Современные проблемы науки и образования*. 2016. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24132>.
15. Шелепина Н.В. Использование продуктов переработки зерна гороха в пищевых технологиях. *Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология*, 2016. №4, Том 6. С. 110–117.
16. Магзумова Н.В., Малиновская Е.Е., Келешян М.В. Изучение возможности применения горохового белка при производстве колбас вареной ассортиментной группы. *Харчова наука і технологія*, 2013. №2. С. 20–22.
17. Улицкий З.З. Гороховый протеин для переработчиков мяса – не только функциональная добавка. *Мясной Бизнес*. 2009. № 3. С. 22.
18. Гороховый белок, Бельгия. URL: <https://agroservers.ru/b/gorokhovyy-belok-belgiya-362657.htm>
19. Хрулев А.А., Бесчетникова Н.А., Федотов И.А. Тенденции развития и экономические аспекты производства горохового протеина. *Пищевая промышленность*. №4. 2016. С. 24–28.
20. Технологія виробництва преміксів / Б.В. Єгоров, О.І. Шаповаленко, А.В. Макаринська. Підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 288с.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОГО ГОРОХОВОГО КОНЦЕНТРАТУ В КОМБІКОРМАХ ДЛЯ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ

Встановлено, що введення рослинного горохового концентрату до складу комбікормів не впливає на зміну фізичних властивостей розсипних комбікормів. Біологічна оцінка, проведена на лабораторних тваринах, показала, що комбікорм з використанням рослинного горохового концентрату має високу біологічну цінність. Використання рослинного горохового концентрату в якості альтернативи дорогого джерела протеїну – рибному борошну, сприяє підтримці швидкості росту тварин і зменшенню вартості комбікормів.

Ключові слова: горох, якість, концентрат, екструдувannya, комбікорм, гороховий протеїн, амінокислота.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ГОРОХОВОГО КОНЦЕНТРАТА В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ

Установлено, что введение растительного горохового концентрата в состав комбикормов не влияет на изменение физических свойств рассыпных комбикормов. Биологическая оценка, проведенная на лабораторных животных, показала, что комбикорм с использованием растительного горохового концентрата имеет высокую биологическую ценность. Использование растительного горохового концентрата в качестве альтернативы дорогому источнику протеина – рыбной муке, способствует поддержанию скорости роста животных и уменьшению стоимости комбикормов.

Ключевые слова: горох, качество, концентрат, экструдирование, комбикорм, гороховый белок, аминокислоты.

Писарев М.Г.

Національний університет харчових технологій

Левківська Т.М.

Національний університет харчових технологій

Бандуренко Г.М.

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ СОРТІВ КАРТОПЛІ У ВИРОБНИЦТВІ СУШЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

У статті проведено аналіз хімічного складу й технологічних характеристик сучасних сортів картоплі. Вибрано такі сорти, хімічний склад і технологічні особливості яких можуть забезпечити найкращі якісні показники готового продукту. Доведено, що сушіння картоплі НВЧ-конвективним способом, дозволяє скоротити тривалість процесу та отримати напівфабрикати високої якості.

Ключові слова: картопля, сушіння, напівфабрикати, аскорбінова кислота, сучасні сорти.

Постановка проблеми. Картопля є порівняно дешевою сировиною, традиційною та улюбленою культурою для населення України. Вона характеризується високою харчовою цінністю, зумовленою вмістом засвоєваних вуглеводів, повноцінного рослинного білка, високим вмістом амінокислот, третину яких складають незамінні, а також широким спектром мінеральних речовин. Картопля є одним з джерел вітамінів, особливо вітаміну С [1].

У 90-х роках відбулося значне скорочення площ посіву під картоплю. Існуючі фермерські господарства мали невеликі площі землі, слабку матеріально-технічну базу й були обмежені фінансові ресурси. У зв'язку з цим значною мірою скоротилися посадки картоплі в спеціалізованих господарствах, де картопля вирощувався за рекомендованими технологіями й проводився підбір сортів і насінневих матеріалів. На сьогоднішній день більшість господарств застосовують сучасні технології та вирощують однорідні за якістю та лежкістю бульби на великих площах [2]. Це дозволило заготівельникам формувати однорідні по лежкості і якості партії під час закладання на тривале зберігання, як в самих господарствах, так і на плодоовочевих базах. Але, не вирішеним питанням в Україні залишаються проблеми сортовипробування і внесення в каталог сортів за їх призначенням. Жодна установа, яке займається селекцією картоплі, не робить комплексної оцінки новому сорту. Показують не максимально отриманий урожай, а потенційний на основі розрахунків. Вводиться в каталог величезна кількість сортів з недостатньою

інформацією, що стосується їх позитивних і негативних якостей; мало висвітлюються кулінарні, технологічні властивості; відсутні рекомендації про призначення сортів, а саме: столові для здорових людей, хворих на діабет і т.д., кормові, для переробки на крохмаль або спирт, виготовлення чіпсів, картоплі «фрі» та інших картоплепродуктів. Товаровиробнику важко з півтори сотні сортів вибрати той сорт, який би він хотів вирощувати. Важко розібратися в цьому розмаїтті сортів заготівельникам - торговим працівникам, фахівцям переробних підприємств, фахівцям громадського харчування та простому населенню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Для харчової промисловості проблемою є те, що сучасні сорти картоплі недостатньо досліджені. У літературі є багато даних, які стосуються морально застарілих сортів, таких як Гатчинський, Зорька, Вогник, Приекульський ранній, Темп, Царніковський, але, в той же час, слід зазначити, що щорічно велику кількість сортів виводиться і вводиться в реєстр. Знайти узагальнені матеріали, які в повній мірі характеризують господарські, товарознавчі, технологічні властивості старих і введених нових сортів не можна, так як вони відсутні. Незважаючи на те, що в Україні існує Державна служба сортовипробування, працівникам сільського господарства, торгівлі, заготівлі, науки, громадського харчування, переробної галузі, непросто знайти об'єктивну комплексну характеристику введених в реєстр сортів, щоб використовувати

її у своїй виробничій і науковій діяльності. На сьогоднішній день ресурсний потенціал асортименту картоплі в Україні розробляється і впроваджується на багатьох дослідницьких станціях. Найвідомішими з них є Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України, Дослідницька станція «Маяк» інституту овочівництва і баштанництва УААН, Вінницький національний аграрний університет та ін. До Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, в 2014-2015 р затверджено 140 сортів, з яких 3 сорти дуже ранні, 53 ранні, 35 середньоранні, 26 середньостиглі, 21 середньопізні, 2 пізні.

Відомо, що хімічний склад, харчова цінність, кулінарні та інші достоїнства картоплі значною мірою залежать від господарсько-ботанічних сортів, умов вирощування, зрілості бульб, термінів і умов зберігання [3, 4]. При виборі для переробки відповідних сортів картоплі, які поділяються на столові, технічні та універсальні перевага дають тим, які містять велику кількість поживних речовин, гарну розварюваність, лежкість і не темніють при розрізанні. З наявних літературних даних відомо, що за формою бульби бувають округлими, овальними або видовженими. В округлих бульб в усіх напрямках розміри майже однакові, у овальних – один із напрямів перевищує інші в 1,5 рази, в подовжених – в 2 рази і більше. Є сорти з проміжною формою бульб – яйцевидної, плоскоовальної, бочко видної та ін. Покриті бульби гладенькою, лускоподібною або сітчастою шкіркою. Забарвлення м'якоті та поверхні бульб також буває різне – біле, жовте, світло-рожеве, іноді червоне чи синє [5, 6].

Розмір, форма і маса бульб мають важливе значення для промислового виробництва [1, 2], так як при переробці середньої (5-6 см) і великої (понад 6 см в найбільшому поперечному вимірі) картоплі підвищується продуктивність підготовчого відділення овочесушильного заводу. Переробка дрібних бульб (менше 4 см в найбільшому поперечному вимірі) стає нерентабельною, так як збільшується кількість відходів і зменшується продуктивність праці на доочищення. При переробці дуже великої картоплі (більше 7 см в найбільшому поперечному діаметрі) також збільшується кількість відходів через переважання бульб неправильної форми (з наростами і бугристістю), іноді і дуплистих. При механічному способі очищення картоплі для зменшення кількості відходів важливо, щоб бульби мали кулясту, а не довгасту форму.

Також на кількість відходів впливає кількість вічок в картоплі і глибина їх залягання, від чого напряму залежить товщина шару який знімається з поверхні і витрати на доочистку [2]. При пароводотермічний або водопаровий підготовці картоплі бажано застосовувати бульби округло-овальної форми. При очищенні картоплі колір м'якоті картоплі, яка застосовується для сушіння, повинен бути білий або світло-кремовий. Сорти з жовтого, рожевого або зеленою м'якоттю для сушіння непридатні.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження технологічних і фізико-хімічних властивостей сучасних сортів картоплі та придатність їх до виробництва сушених картоплепродуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Матеріалами дослідження були сорти картоплі вирощені в Інституті картоплярства Національної академії аграрних наук України з різним вмістом крохмалю. Для вирішення поставлених завдань використовувалися органолептичні і фізико-хімічні методи досліджень рослинної сировини. Досліди проводили в п'яти повторах.

Методика роботи полягала в наступному. Картоплю сортували, мили, інспектували, очищали від шкірки та нарізали на пластинки товщиною 1-2 мм. Особливістю хімічного складу картоплі є наявність білку туберіну, який має високу біологічну активність, містить всі незамінні амінокислоти, у тому числі й тирозин. При розрізанні бульби її м'якуш темніє внаслідок окислення тирозину й утворення темнозабарвлених сполук. Для запобігання цьому необхідно застосовувати бланшування картоплі, яке можна проводити у воді та гострою парою. Кожен з цих способів має свої переваги й недоліки. Так, при бланшуванні у воді разом з розчинними сухими речовинами втрачається значна кількість нітратів, які могли накопичитись в бульбах при вирощуванні. При бланшуванні парою втрати розчинних сухих речовин картоплі будуть значно меншими, але може погіршитись структура часточок, що призведе до утруднення процесу сушіння, збільшуючи кількість дріб'язку та погіршення якості готового продукту. Пластинки споліскували, короткочасно бланшували у воді при температурі 98°C з наступним охолодженням, розміщували одним шаром на сітчастому піддоні, який вставляли в сушильну камеру.

Сушіння проводили на лабораторній сушильній установці DRYING OVEN фірми ULAB (рис. 1), де була досліджена кінетика процесу сушіння конвективним способом.



Рис. 1. Зовнішній вигляд сушильної установки

Конвективне підведення теплоти здійснювався від зовнішнього ТЕНу потужністю 1 кВт, зі швидкістю руху теплоносія 6 м/с. Регулювання температури під час сушіння здійснювали за допомогою датчика температури з кроком варіювання $\pm 1^\circ\text{C}$, регулювання швидкості руху повітря проводили за допомогою спеціального пристрою. Процес сушіння проводили при температурі 70°C до кінцевого вологовмісту 35 %, що відповідає вмісту сухих речовин – 92 % (при вмісті вологи 8 %). Подальше сушіння було недоцільним, оскільки спостерігаються реакції меланоїдиноутворення та карамелізації. Під час досліджень, було проаналізовано вісім сучасних сортів картоплі - Случ, Повінь, Струмок, Щедрик, Околиця, Спокуса, Слов'янка, Арія. Ці сорти відрізняються округло-овальною формою бульб з дрібними вічками, здатність зберігати свій натуральний колір м'якоті протягом декількох годин після розрізання бульб. Експериментальні дані, представлені в таблиці 1.

Як видно з таблиці, досліджувані сорти картоплі дуже різняться за вмістом сухих речовин і, відповідно, за кількістю крохмалю, що в них міститься. Встановлено, що активність перокси-

дази досліджуваних зразків картоплі знаходилась в межах 45-70 одиниць і безпосередньо впливала на швидкість потемніння м'якоті після розрізання картоплі. Тривалість потемніння картоплі залежала від сорту і знаходилась у межах 210-120 хв.

Враховуючи технологічні показники картоплі, активність пероксидази та тривалість потемніння, для подальших досліджень було відібрано такі сорти як Струмок, Слов'янка, Арія, Щедрик, Спокуса.

Наступним етапом роботи було визначення оптимального способу сушіння для отримання напівфабрикатів з картоплі високої якості. Існує багато способів сушіння – конвективний, термо-радіаційний, в полі НВЧ та ін. [7; 8; 9]. З метою скорочення енерговитрат, прискорення процесу сушіння та отримання продукту високої якості, застосовують комбінування зазначених способів [10; 11]. Сушіння проводили конвективним способом та комбінованим, використовуючи НВЧ-сушіння на першій та другій стадії та досушування конвективним способом. Дослідження процесу сушіння проводили, використовуючи сорт Спокуса. Температура сушильного агента (повітря) складала 70°C , швидкість руху – 6,0 м/с, а навантаження магнетрону 170 Вт. У результаті були отримані криві сушіння, які характеризують зміну інтегрального вмісту вологи залежно від тривалості сушіння (рис. 2).

Як видно з рис. 2, тривалість сушіння у картоплі конвективним способом становила 200 хв, а при використанні НВЧ-впливу скорочується до 100 хвилин.

Отримані зразки були оцінені за методом багатокутника якості (рис. 3).

Як видно з рисунку 3, найкращий результат показував зразок напівфабрикату висушений комбінованим способом.

Таблиця 1

Показники якості сучасних сортів картоплі

Сорт	Вміст сухих речовин, %	Вміст крохмалю, %	Активність пероксидази, од.активності	Час потемніння, хв
Случ	25	18	68,7	200
Арія	21	14	71,3	150
Щедрик	22	14	64,0	190
Повінь	23	15	59,4	130
Околиця	21	16	57,2	140
Слов'янка	14	12,9	51,8	120
Спокуса	20	13,5	49,1	200
Струмок	19	14,5	46,5	120

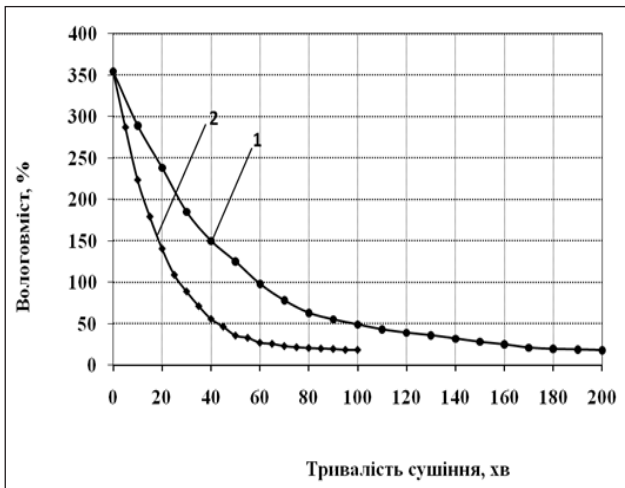


Рис. 2 Кінетика сушіння картоплі сорту Спокуса різними способами: 1-конвективний; 2-комбінований (НВЧ+конвективний)

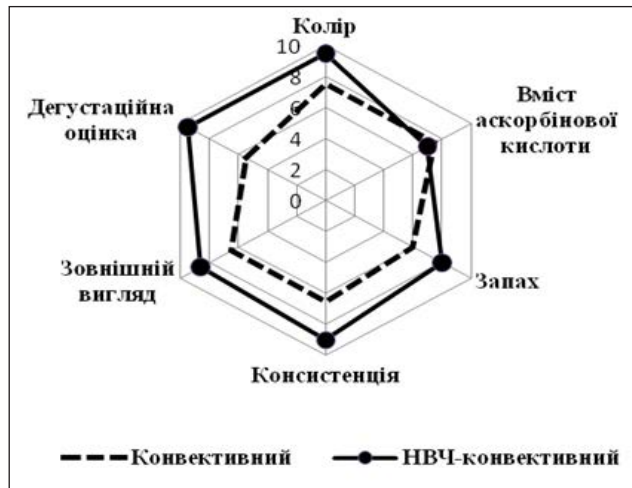


Рис. 3. Органолептична оцінка напівфабрикатів з картоплі сушених різними способами

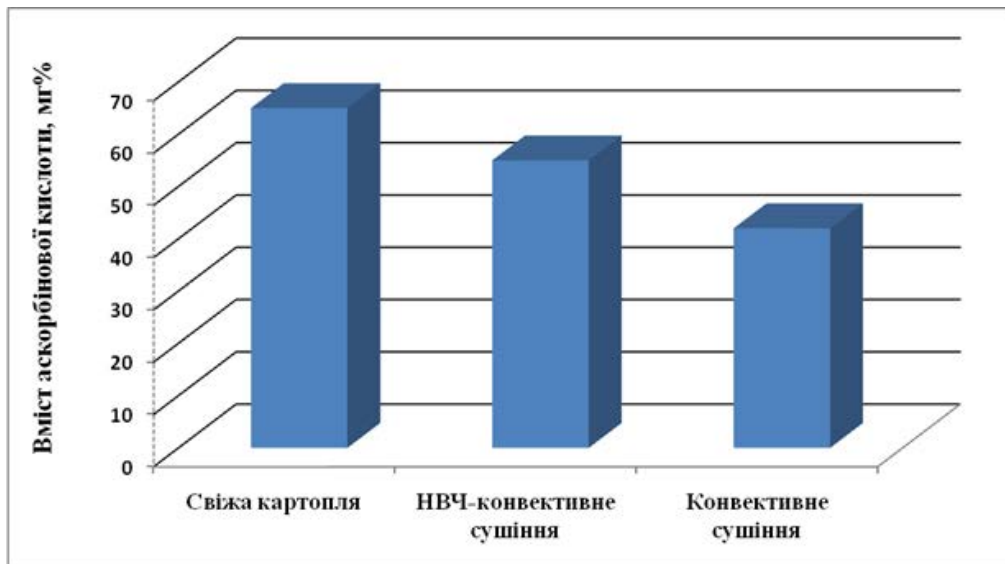


Рис. 4. Зміна вмісту аскорбінової кислоти напівфабрикатах з картоплі сушених різними способами в перерахунку на суху речовину

Для більш повного аналізу процесів, що відбуваються при сушінні необхідно було провести аналіз зміни хімічного складу картоплі залежно від способу сушіння. Для спрощення поставленої задачі доцільно проводити контроль якості картоплепродуктів за вмістом в них аскорбінової кислоти, як найбільш чутливого компоненту до дії температур. Результати зображені на рис.4.

З рисунку видно, що втрати аскорбінової кислоти при сушінні картоплі комбінованим НВЧ-конвективним способом складають 15 %, в той час при конвективному сушінні – 30%.

Аналогічні залежності були отримані при дослідженні й інших сортів картоплі – Слов'янка, Струмок та Щедрик. Зразки сушених напівфа-

брикатів були перевірені на відповідність діючим стандартам за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

Під час зберігання зміна якісних показників сушених продуктів істотно залежить від температури навколишнього середовища, доступу чи відсутності повітря та герметичності упаковки. Дослідження проводили для герметично фасованої продукції протягом шести місяців при температурі навколишнього середовища +18°C. При цьому досліджували зміну консистенції, кольору, запаху, вміст вологи, смак після термічної обробки. Отримані результати дали змогу стверджувати, що протягом шести місяців зберігання сушеної картоплі, її якісні показники істотно не змінились.

Висновки. Проведені дослідження сучасних сортів картоплі дозволяють рекомендувати до промислової переробки такі сорти як Слов'янка, Струмок, Спокуса та Щедрик. Використання комбінованого СВЧ-конвективного способу сушіння дає змогу отримати напівфабрикати з

картоплі високої якості за органолептичними та фізико-хімічними показниками за невеликої тривалості процесу. Під час зберігання напівфабрикатів, виготовлених із сучасних сортів картоплі, якісні показники не змінюються протягом шести місяців.

Список літератури:

1. Цимбалюк Ю.А. Збільшення обсягів виробництва картоплі в Україні. *Економіка АПК*. 2001. № 7. С. 36–37.
2. Широков Е. П., Полегаев В. И. Хранение и переработка продукции растениеводства с основами стандартизации и сертификации. Часть 1. Картофель, плоды, овощи. Москва : Колос, 2000.– 254 с.
3. Родригес С., Фернандес Ф.А.М. Инновационные технологии переработки плодоовощной продукции. Санкт-Петербург : Профессия, 2014. 456 с.
4. Витол И.С., Горбатько В.И., Горенков Э.С. Введение в технологии продуктов питания. Москва : ДеЛи плюс, 2013. 702 с.
5. Синха Н.К., Хью Н.Г. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции. Москва; Санкт-Петербург : Профессия, 2013. 896 с.
6. Мглинец А.И., Ловачева Г.Н., Алешина Л.М. Справочник технолога общественного питания. Москва : Колос, 2000. 416 с.
7. Lewicki Piotr P., Pawlak Grzegorz. Effect of mode of drying on microstructure of potato. *Drying Technology*. 2005. Vol. 23. № 4. P. 847–869.
8. Wang J., Chao Y. Effect of gamma irradiation on quality of dried potato/ *Radiation Physics and Chemistry*. 2003. Vol. 66. I. 4. P. 293–297.
9. Jing YANG, Jin-feng CHEN, Yu-ying ZHAO, Lin-chun MAO. Effects of Drying Processes on the Antioxidant Properties in Sweet Potatoe. *Agricultural Sciences*. 2010. Vol. 9. I.10. P. 1522–1529.
10. Писарев М. Г., Малезик І.Ф., Бандуренко Г.М. Шляхи зниження енерговитрат при отриманні сушеної картоплі. *Вісник Харківського технологічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. № 166. С. 75–81.
11. Малезик І.Ф., Бандуренко Г.М., Писарев М. Г., Мисюра Т. Г. Інноваційні рішення в технології сушіння картоплі. *Наукові праці НУХТ*. 2015. Т. 21. № 2. С. 203–210.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУШЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

В статье проведен анализ химического состава и технологических характеристик современных сортов картофеля. Выбраны такие сорта, химический состав и технологические особенности которых могут обеспечить лучшие качественные показатели готового продукта. Доказано, что сушка картофеля СВЧ-конвективным способом, позволяет сократить продолжительность процесса и получить полуфабрикаты высокого качества.

Ключевые слова: картофель, сушка, полуфабрикаты, аскорбиновая кислота, современные сорта.

PERSPECTIVES OF THE USE OF MODERN SORTED POTATO IN PRODUCTION OF DRIED SEMI-FINISHED PRODUCTS

The article analyzes the chemical composition and technological characteristics of modern potato varieties. Selected such varieties, chemical composition and technological features which can provide the best quality indicators of the finished product. It is proved that the drying of potatoes by microwave-convection method allows to shorten the length of the process and obtain semi-finished products of high quality.

Key words: potato, drying, semi-finished products, ascorbic acid, modern varieties.

УДК 621.37:637

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/18>**Самілик М.М.**

Сумський національний аграрний університет

Расамакіна Ю.В.

Сумський національний аграрний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БУРЯКОВИХ ЦУКАТІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЙОГУРТІВ

У статті розглядаються перспективи використання столового буряка як добавки до йогуртів, оскільки буряк і продукти його переробки містять комплекс натуральних біологічно активних речовин, що здатні стимулювати імунну систему організму та виводити шкідливі сполуки. Запропоновано технологію виготовлення та досліджено органолептичні показники йогурту з використанням бурякових цукатів. Проведені дослідження показали, що овочева сировину доцільно використовувати як добавки до йогуртів. Столовий буряк збагачує продукт корисними речовинами. Натуральні пігменти буряка надають йому присмного забарвлення.

Ключові слова: йогурт, столовий буряк, бурякові цукати, функціональні продукти, біфідобактерії, пектинові речовини.

Постановка проблеми. Йогурт – це кисломолочний продукт із підвищеним вмістом сухих речовин, який виробляють сквашуванням молока культурами видів *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*. Виробництво йогурту здійснюється резервуарним і термостатним способами [1, с. 121]. Йогурт, виготовлений за традиційною технологією, зберігається за температури 4–6°C протягом 36 годин. Сучасні технології йогуртів передбачають застосування стабілізаторів структури, заквасок прямого внесення, різноманітного спектра наповнювачів [1, с. 122]. Виробляється йогурт 1,5%, 3,2% і 6%-ої жирності. Залежно від застосовуваних смаків і ароматичних речовин випускають йогурт несолодкий, солодкий, з ваніліном і плодово-ягідний, колір якого залежить від кольору введеного сиропу.

Кисломолочні напої, зокрема йогурти, розглядають як оптимальний харчовий продукт, який можна використовувати для збагачення раціону харчування людини, адже в склад йогуртів входять біологічно активні речовини, незамінні нутрієнти. Йогурти належать до продуктів функціонального харчування, оскільки вони містять молочнокислі мікроорганізми та біфідобактерії. Пробиотики, що містяться в йогуртах, позитивно впливають на функціонування мікрофлори людини, виконують імунностимулюючу та вітаміноутворюючі функції в організмі [2, с. 14].

Актуальним є питання розширення асортименту йогуртів завдяки використанню не лише

фруктових наповнювачів, але й овочевої сировини, багатой на вітаміни та харчові волокна. Харчові волокна відіграють важливу роль у детоксикації організму, адсорбції та виведенні з організму холестерину й жовчних кислот, радіонуклідів, канцерогенних та інших речовин. Вони регулюють стан і функції шлунково-кишкового тракту, сприяють розвитку нормальної кишкової мікрофлори.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині ведуться інтенсивні дослідження з використання біологічно активних рослинних інгредієнтів у складі молочних продуктів із метою надання їм функціональних та імуномодельючих властивостей, покращення органолептичних показників, підвищення ефективності виробництва завдяки включенню рослинної сировини [2, с. 34].

Для збагачення йогуртів використовуються переважно синтетичні інгредієнти, які можуть стимулювати приріст пробіотичної мікрофлори у готовому продукті. Як природні джерела збагачення кисломолочних напоїв застосовуються коренеплід топінамбуру, корінь солодки, цикорію, злакові культури і продукти їх переробки, лікарські рослини. Розроблено технологію йогурту «Медовий» із використанням бджолиного обніжжя [3, с. 2].

Проведено ряд досліджень щодо підвищення термінів зберігання готового продукту. Технологічні прийоми отримання молочних продуктів із подовженими термінами споживання повинні забезпечувати знищення мікроорганізмів і руйнування ферментів, які можуть вплинути на якість

готового продукту, але при цьому біологічно активні добавки не повинні потерпати від негативних змін. Цього можна досягти такими технологічними заходами: вибором якісної молочної сировини і ретельним підбором мікрофлори заквасок; проведенням термізації; використанням консервантів; застосуванням високих режимів теплової обробки сумішей; використанням асептичної упаковки тощо [4, с. 57].

Унаслідок ретельного аналізу фізіолого-гігієнічного значення різноманітної овочевої сировини та аналізу сучасних способів підвищення ефективності виробництва йогуртів запропоновано використовувати як сировину у виробництві йогуртів столові буряки.

Постановка завдання. Для забезпечення фізіологічних потреб організму людини необхідною кількістю енергії, слід з їжею вводити в раціон усі необхідні біологічно-фізіологічні компоненти. Значну частку раціону харчування мають становити рослини. Цінність рослинної сировини пояснюється вмістом у ній біфлаванолідів, каротинолідів, аскорбінової кислоти, фолатів та іншого. Сьогодні рослинна сировина, переважно представлена фруктами, ягодами та злаками, використовується у вигляді паст, пюре, сиропів, соків та іншого.

В Україні розроблено технологічні інструкції, затверджені та зареєстровані УкрЦСМ, погоджені МОЗ України щодо використання овочевих порошків із моркви, столового буряку, картоплі, капусти, гарбуза, кабачків, цибулі, часнику, шпинату, ревеню, білих коренів петрушки, селери, пастернаку (ТУУ15.3-05417118.024-2002). Враховуючи вимоги до традиційної консистенції йогуртів із наповнювачами та смакові вподобання споживачів, доцільно застосовувати столові буряки у вигляді цукатів. Вибір овочевої сировини для розроблення йогурту функціонального призначення здійснено з урахуванням органолептичних характеристик та економічної доцільності.

Столовий буряк характеризується багатим хімічним складом. У ньому містяться вода – 82,2%, азотисті речовини – 1,8%, вуглеводи – 14,4%, жир – 0,6 %, клітковина – 0,7%, органічні кислоти (в перерахунку на яблуневу) – 0,1%, зола – 1,0%.

Мінеральні речовини буряку представлені (в мг на 100 г їстівної частини) натрієм – 86, калієм – 288, кальцієм – 37, магнієм – 43, фосфором – 43, залізом – 1,4.

У коренеплодах буряку є вітаміни (в мг на 100 г їстівної частини): β -каротин – 0,01, V_1 – 0,02, V_2 – 0,02, РР – 0,2, С – 10 [5, с. 55–56].

Крім того, останнім часом спостерігається збільшення попиту на натуральні пігменти, це пояснюється суворою регламентацією використання синтетичних барвників. Яскравий фіолетово-червоний колір столового буряку та продукції з нього зумовлений наявністю барвних речовин – беталаїнових пігментів, які належать до поліфенолів із групи антоціанів. Бетанін і бетаїн мають лікувальні властивості. Вони здатні укріплювати стінки кровоносних судин, їх відносять до ліпотропних речовин, які беруть активну участь у жировому обміні [6, с. 43].

З огляду на це завданням дослідження на першому етапі стало визначення способу обробки столових буряків із метою збереження їхніх корисних властивостей і дослідження органолептичних показників якості продукту з оновленим рецептурним складом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Варто зазначити, що в промислових умовах не виготовляються цукати із столового буряку. Тому вони були виготовлені нами в лабораторних умовах на основі традиційної технології фруктових цукатів. Як сировину використано столовий буряк сорту Бордо 237.

Пігменти столового буряку вкрай чутливі до температурної обробки, за високої температури та контакту з повітрям бетаїн окислюється. Бетаїн добре переносить пастеризацію в тому разі, коли продукція містить багато цукру, постійність відтінку зберігається при рН 3–5 [6, с. 43].

Саме тому цукати із столового буряку виготовлялися шляхом бланшування в цукровому сиропі із додаванням лимонної кислоти. Перед обробкою ретельно відмитий буряк очищували і подрібнювали з отриманням шматочків величиною 2–3 мм. Тривалість бланшування у цукровому сиропі становила близько 30 хв із наступним витриманням протягом 3 год. Такий спосіб дає змогу зберегти пігментний комплекс і багатий хімічний склад буряків. Доведені до стану готовності цукати висушувалися гарячим чистим повітрям конвективним способом у лабораторних умовах.

Конвективне сушіння вважається одним із ефективних і дешевих методів консервування. Тривалість цього процесу зазвичай визначається температурою та швидкістю теплоносія, а також товщиною шару матеріалу в сушарці. Від цих самих факторів може залежати також якість матеріалу після сушіння. Нами відпрацьовано декілька режимів сушіння і обрано оптимальний, враховуючи фізико-хімічні особливості сировини. Як наслідок, сушіння цукатів проводилося за

температури теплоносія 70°C протягом 4 годин. Вологість висушених цукатів становила 15,5%.

Досліджуваний продукт «Йогурт із буряковими цукатами» виготовлявся за традиційною технологією термостатним способом із незбираного молока. Перед використанням незбиране молоко перевірялося за допомогою ультразвукового аналізатора. Серед параметрів, що вимірювалися, – відсотковий вміст жиру, білка, сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ), вміст води, густина. Для перевірки свіжості молока використовували метод титрованої кислотності. За показниками якості досліджуване молоко відповідало вищому ґатунку згідно з нормативною документацією [7, с. 6].

Відповідно до вдосконаленої технології, пастеризація молока здійснювалась за температури 90–94°C з витримкою протягом 2–3 хвилин. Підвищений режим пастеризації необхідний для покращення консистенції та забезпечення повного знищення сторонньої мікрофлори, руйнування ферментів. Пастеризоване молоко охолоджувалося до температури 38–42°C і сквашувалося заздалегідь підібраними заквасками. Сквашування проводилося в термостатній камері за температури 40–45°C протягом 5 годин. Кислотність готового згустку становила 78°Т.

Під час досліджень використано два різних види комбінованих заквасок, що відрізнялися за своїм мікробіологічним складом. Комбіновані закваски мають вищу біохімічну активність і стійкість до несприятливих факторів середовища. Вони підвищують біологічну цінність, активність кислотоутворення, покращують органолептичні і реологічні властивості продуктів. Мікробіологічний склад заквасок представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Мікробіологічний склад заквасок під час виготовлення йогурту з цукатами столового буряку

Зразок № 1	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i>
Зразок № 2	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i>
Зразок № 3	<i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i>

Після сквашування всі зразки мали міцний згусток і характерну консистенцію. У ретельно перемішаний та охолоджений до температури 5°C

йогурт вносили бурякові цукати в різних пропорціях. У результаті дегустаційної оцінки визначено оптимальну кількість цукатів, яку слід внести на 100 г готового продукту.

Дотримання технології виготовлення цукатів дало змогу зберегти пігменти столового буряку і отримати продукт із високими органолептичними показниками. Крім того, цукати практично на 90% складаються із харчових волокон, вони є субстратами для корисних бактерій, що містяться в йогуртах.

Харчовим волокнам притаманна велика гідрофільність, здатність до набухання та структуроутворення, що дає можливість використовувати цукати з буряку ще як стабілізатори. Систематичне споживання столового буряку підвищує розумову та фізичну працездатність, стимулює роботу органів кровотворення, посилює стійкість організму до несприятливих факторів навколишнього середовища.

Отже, розроблений нами йогурт можна вважати функціональним харчовим продуктом, виготовленим на основі природної сировини без штучних барвників та інших добавок.

Для наочного сприйняття результатів побудовано профілографу розроблених зразків (рис. 1). Профільний аналіз дає можливість виявити оптимальний зразок, а також встановити, завдяки яким позитивним характеристикам він був досягнутий.

Дегустацію проведено експертною комісією у складі 9 осіб. При цьому оцінювалися дескриптори, які є значущими для споживачів і регламентуються вимогами чинної нормативної документації [8, с. 4–6]. Дегустаційну оцінку зразків йогурту із буряковими цукатами проведено за 5-бальною шкалою бажаності та інтенсивності відчуття смакових та ароматичних властивостей продукту. Порівняння проводилося як з еталоном (йогурт із фруктовим наповнювачем виготовлений у промислових умовах), так і між досліджуваними зразками.

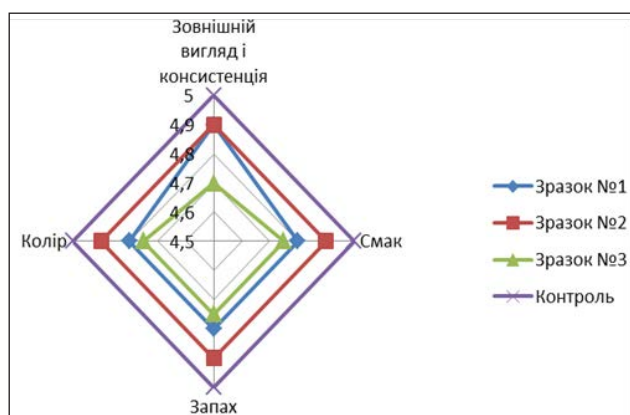


Рис. 1. Органолептичний профіль досліджуваних зразків

Встановлено, що найбільш гармонійний і властивий смак з інтенсивністю в 4,9 бали, притаманний йогурту з наповнювачем, спостерігався у зразку № 2. У зразку № 3 спостерігався сильний буряковий післясмак. Саме в цей зразок внесено найбільшу кількість цукатів. За зовнішнім виглядом і консистенцією більшість досліджених зразків йогуртів мали досить позитивні характеристики.

За ароматом лише один із досліджуваних зразків мав досить високу інтенсивність позитивних характеристик. Незважаючи на це, прийнято рішення не використовувати штучні ароматизатори для покращення запаху готового продукту, оскільки нашим головним завданням є створення натурального функціонального продукту.

Правильний режим обробки бурякових цукатів дав змогу підвищити стабільність пігментів і отримати яскравий колір, подекуди з високим ступенем червоності. Оптимальним визначено в міру рожевий колір, що спостерігався в зразку № 2.

Результати дегустаційної оцінки показали, що отримані зразки продуктів характеризувалися збалансованим смаком, приємним кольором і консистенцією. Порівнюючи розраховану загальну

оцінку в балах, видно, що найбільш наближеним до еталона, який регламентується нормативною документацією [8, с. 5], є зразок № 2.

Також нами досліджено мікробіологічну стабільність удосконаленого продукту в процесі зберігання. Протягом 5 днів визначався ступінь активної кислотності за допомогою рН-метра. Оптимальний термін зберігання йогурту із буряковими цукатами – 3–4 доби за температури 1–5°C.

Висновки. Йогурт із цукатами столових буряків відповідає органолептичним показникам якості та має багатий нутрієнтний склад. Столовий буряк містить велику кількість біологічно активних речовин, зокрема таких барвних речовин, як бетанін і бетаїн, що надають йому лікувальних властивостей. Пребіотики (харчові волокна), які входять до складу йогурту, виготовленого за оновленою рецептурою, поліпшують біодоступність кальцію завдяки всмоктуванню в товстому кишечнику та скорочують тривалість інфекційних захворювань.

Перспективи подальших досліджень. Дослідження будуть спрямовані на підвищення терміну зберігання натурального йогурту з цукатами столових буряків.

Список літератури:

1. Технологія незбираномолочних продуктів : навч. посібник для студентів вищих навч. закладів / Т.А. Скорченко, Г.С. Поліщук, О.В. Грек, О.В. Кочубей; за ред. Т.А. Скорченко. Вінниця : Нова книга, 2005. 264 с.
2. Крижак Л.М. Удосконалення технології йогурту функціонального призначення з використанням ехінацеї пурпурової : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.04 – «Технологія м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів»; Вінницький нац. аграрний ун-т. Вінниця, 2016. 187 с.
3. Ломова Н.М., Наріжний С.А., Сніжко О.О. Первинна підготовка апіпродуктів у біотехнології йогурту «Медовий». *Наукові доповіді НУБіП України*. 2016. Вип. 7. № 64. С. 2–4.
4. Кітченко Л.М., Назаренко Ю.В., Окуневська С.О., Цигура В.В. Способи подовження терміну зберігання йогурту. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. 2017. № 2 (97). С. 56–58.
5. Павленкова П.П., Топор Г.А. Дослідження можливості використання забарвлювального концентрату з буряку у виробництві желюваних виробів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2010. Вип. 38. Т. 2. С. 55–59.
6. Дубіна А.А., Пенкіна Н.М., Черевична Н.І., Ольховська В.С. Характеристика пігментного комплексу столового буряку та закономірності змін його кольору. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. ISSN 1729-3774. 2013. № 4/10 (64). С. 43–47.
7. ДСТУ 3662:2018. Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови. Київ, 2019. 11 с.
8. ДСТУ 4343:2004. Йогурти. Загальні технічні умови. Київ, 2005. 9 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕКЛОВИЧНЫХ ЦУКАТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЙОГУРТОВ

В статье рассматриваются перспективы использования столовой свеклы как добавки к йогуртам, поскольку свекла и продукты её переработки содержат комплекс натуральных биологически активных веществ, которые способны стимулировать иммунную систему организма и выводит вредные соединения. Предложена технология изготовления и исследованы органолептические показатели йогурта с использованием свекольных цукатов. Проведенные исследования показали, что овощное сырьё целесообразно использовать в качестве добавок к йогуртам. Столовая свекла обогащает продукт полезными веществами. Натуральные пигменты свеклы придают йогурту приятной окраски.

Ключевые слова: йогурт, столовая свекла, свекольные цукаты, функциональные продукты, бифидобактерии, пектиновые вещества.

PROSPECTS FOR THE USE OF BEET CANDIED IN THE PRODUCTION OF YOGURTS

The article discusses the prospects for using table beet as a supplement to yoghurts. Because the beets and products of its processing contain a complex of natural biologically active substances capable of stimulating the immune system of the organism and eliminating harmful compounds. The technology of production was proposed and the organoleptic parameters of yogurt using beet candied beetroot were investigated. Studies have shown that vegetable raw materials can be used as additives to yogurts. Table beet enriches the product with useful substances. The natural beet pigments give it a pleasant color.

Key words: yogurt, table beet, beet candied, functional products, bifidobacteria, pectin substances.

Страшинський І.М.

Національний університет харчових технологій

Пасічний В.М.

Національний університет харчових технологій

Гречко В.В.

Національний університет харчових технологій

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ПОДРІБНЕННЯ НАСІННЯ ЧІА НА ЗДАТНІСТЬ ДО ГЕЛЕУТВОРЕННЯ

У статті досліджено вплив ступеня подрібнення насіння чіа на здатність до гелеутворення. Вивчено залежність екстрагування сухих речовин в гель. Встановлено, що зі збільшенням ступеня подрібнення насіння чіа зростає частка екстрагованих сухих речовин у гель в однакових умовах експерименту, зокрема при кімнатній температурі. Розглянуто можливість використання насіння чіа у вигляді цілих зерен, крупного, середнього та дрібного подрібнення. Запропоновано використовувати насіння чіа як структуро-формуєчу добавку для напівфабрикатів.

Ключові слова: насіння чіа, ступінь подрібнення, гелеутворення, напівфабрикати, вміст сухих речовин.

Постановка проблеми. В останні роки тенденція до здорового способу харчування почала диктувати свої правила. Споживачі дедалі більше віддають перевагу натуральним продуктам. На полицях магазинів з'являються продукти, у складі яких є тільки натуральні компоненти. В м'ясній промисловості через нестабільні функціонально-технологічні властивості м'ясної сировини, що надходить на виробництво, не можна обійтись без структуроутворювачів, стабілізаторів та емульгаторів. Вміст цих добавок у складі м'ясопродуктів і є вирішальним фактором для споживачів, які хочуть вести здоровий спосіб життя. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є пошук натуральних структуро-формуєчих добавок із нетрадиційної рослинної сировини. Як такий інгредієнт можна розглядати насіння чіа, яке має здатність утворювати гель і утримує вологу масою, яка перевищує вагу гелю в 27 разів [1, с. 15].

Більшість харчових продуктів містять значну кількість води (60–85%, а деякі овочі до 95–97%), але завдяки особливій внутрішній будові і властивостям компонентів, що в них містяться, мають певну форму і структуру. Надання харчовим виробам у процесі виробництва заданої форми і структури – одне із завдань технології харчових продуктів [2, с. 6–7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині в науковій літературі обмежена кількість досліджень гелю, одержаного з насіння чіа, а

також його властивостей [3, с. 991]. Відомий досвід застосування борошна з насіння чіа при виробництві борошняних кондитерських виробів [4, с. 206, 5, с. 24] та макаронних виробів [6, с. 17]. У хлібобулочній промисловості муку з насіння чіа використовують для випічки хліба [7, с. 306]. В м'ясній промисловості відомий досвід використання муки насіння чіа (NutraChia Low 8) в кількості 10% (шляхом заміщення аналогічної кількості свинини нежирної) [8, с. 127].

Рослина чіа і продукти з неї дозволені в США (USDA, FDA). На підставі результатів проведених досліджень і наявної тривалої практики безпечного використання рослини чіа в харчуванні людини і харчовій промисловості в США, комісія США з контролю харчових і лікарських речовин (FDA) не вважає за доцільне додаткове отримання статусу GRAS («Загалом вважається безпечним») для рослини чіа.

В Європі змога використовувати насіння чіа як новий харчовий інгредієнт була вперше розглянута ACNFP (Великобританія) за заявкою компанії R. Craig & Sons [M] Ltd. в 2003 р. Комісія зазначила, що згідно з Novel Food Regulation (EC) No. 258/97 цільні насіння чіа і вся рослина цілком належать до Класу 2.2. В 2005 р. Європейським управлінням із контролю безпеки продуктів харчування EFSA було прийнято рішення щодо можливості використання насіння чіа як компонент при випічці хліба [9, с. 1]. При цьому, згідно з

розрахунками компанії – заявника та укладення U.K. Advisory Committee for Novel Foods and Processes (Annual Report 2003), яка запропонувала використовувати при випічці хліба до 5% борошна з насіння чіа, щоденне споживання чіа в складі хлібобулочних виробів становитиме для дітей від 1,5 до 4,5 років до 3,2 г на добу, для дітей від 4,5 до 18 років – до 4,3 г / добу [10, с. 14].

З урахуванням досвіду безпечного використання в наступні роки рослини чіа в харчуванні населення (в тому числі дитячого) США, Канади, Австралії, Європи, рішенням EFSA від 22 січня 2013 року було дозволено розширення використання насіння чіа в продуктах масового споживання, в тому числі хлібі і випічці, а також в зернових сніданках, фрукто-горіхово-зернових сумішах з 5 до 10%, а розфасованих насіння чіа – до 15 г в день [11 с 34].

У квітні 2013 р. Інститут харчування Російської академії медичних наук надав звіт про можливість використання борошна з насіння рослини чіа в харчуванні дітей старше трьох років [12, с. 2].

Провівши аналіз літературних джерел, можна стверджувати, що використання гелю з насіння чіа не було достатньо вивчене, що дає змогу розглядати його як перспективний інгредієнт у технології м'ясних напівфабрикатів.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є вивчення здатності насіння чіа відокремлювати щільно пов'язаний гель з урахуванням ступеня їх попереднього подрібнення, а також визначити в ньому наявність сухих речовин. Як об'єкт дослідження використовували органічні насіння Чіа (*Salvia hispanica* L.) темних сортів, які придбали в інтернет-магазині Біомір (виробник ТМ Біомір). Насіння чіа подрібнювали на блендері марки Bosh MSM88190 потужністю 800 Вт. Після цього подрібнені зразки просівали в три етапи: через сито № 1 з розміром вічок 1,0 мм, через сито № 2 – 0,75 мм і через сито № 3 – 0,53 мм. Підготовлені зразки зберігали в скляних ємностях із щільно закритими кришками при кімнатній температурі в сухому, захищеному від світла місці. Далі проводили відбір зразків вагою по 2 г та замочували їх дистильованою водою (20 см³) у співвідношенні 1:10 в центрифужних пробірках, які витримувалися при кімнатній температурі протягом 4 годин [13, с. 3857]. Через 4 години пробірки центрифугували в центрифугі ОС-6 на максимальній швидкості 6000 об/хв протягом 20 хв. Після центрифугування з кожної пробірки відмірювати відокремлену надосадову рідину і досліджували її на

вміст сухих речовин. Отриману в результаті центрифугування зразків надосадову рідину досліджували на зміст сухих речовин методом висушування. Для проведення дослідів використовували електронні ваги марки Ohaus Pioneer PA513C, сушильну шафу, ексікатор, бюкси. Металеві бюкси прожарювали в сушильній шафі протягом 30 хвилин при температурі 120 °С, охолоджували в ексікаторі і зважували. Потім у кожен бюкс вносили 2 г надосадової рідини і бюкси зважували повторно, в результаті чого фіксували їх вагу (А).

Зразки поміщалися в сушильну шафу при температурі 120 °С на 60 хвилин, потім охолоджувалися в ексікаторі і зважували. Повторне висушування зразків проводилося протягом 30 хвилин при тих самих умовах експерименту до досягнення постійної ваги бюкс (В). Зміст сухих речовин у 100 г зразку визначали за формулою

$$\frac{(A-B)*100}{2}$$

Для отримання достовірних результатів дослідження проводили в трьохкратній повторності.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Насіння чіа *Salvia hispanica* належить до сімейства ясноткових, вони ж губоцвітні. Його батьківщина – територія сучасної Південної Мексики і Гватемали. Цей трав'янистий однорічник нерідко виростає вище 175 см. Цінність становить його насіння, дрібні, овальні, близько 1 мм у діаметрі. Вони бувають чорні, білі, сірі, коричневі або строкаті, колір насіння не впливає на смак. У доколумбовій епосі насіння чіа були надзвичайно популярні в ацтеків, займаючи в їх раціоні третє місце після кукурудзи і квасолі. Індіанці цінували цю рослину за виняткові поживні властивості. Згідно з легендою, ацтекські воїни могли підтримувати сили протягом всього дня малою жменькою насіння, не більше столової ложки, якщо використовувати сучасні аналоги. З їх допомогою лікували рани, застуду, ангіну, розлади травлення, позбавляли від неприємного запаху тіла [14, с. 54].

Зараз насіння чіа вирощують у промислових масштабах у Мексиці, Болівії, Аргентині, Еквадорі, Нікарагуа, Гватемалі і Австралії, врожаї варіюють від 450 до 1200 кг/га. Чіа охоче культивували б і в зонах помірного клімату, але ця рослина короткого дня, тобто воно зацвітає восени, і насіння не встигають дозріти до настання холодів. Однак селекціонери працюють над цією проблемою [14, с. 54].

Використання рослини чіа для харчових цілей досить широке. Максимальні обсяги виробництва харчових добавок, зернових сніданків, кондитер-

ських виробів, у тому числі для дітей, спостерігаються в США і Канаді. На їхньому ринку представлені такі компанії: Nutraceuticals Holding LLC – 1000 кг/місяць, Valensa International LLC – 10 000 кг/місяць, Greensplus – 17 000 кг/місяць, Nature's Path – 1000 кг/місяць, Ruth's Hempfood – 1500 кг/місяць, Salba – 300 000 кг/рік. Друге місце за споживанням насіння чіа посідає Австралія та Нова Зеландія: компанія Dovedale Bread (NZ) – 3000 кг/місяць та The Chia Company (Австралія) – 1000 кг/рік [10, с. 16].

Високий попит на компоненти рослини чіа пояснюється її унікальним хімічним складом. У 100 г насіння чіа міститься: білок (20–22 г), жир (30–35 г), харчові волокна (15–30 г), вуглеводи (25–41 г), зола (4–6 г) [15, с. 15]. За інформацією, наданою науковцями, насіння чіа містить близько 21% білку, що більше за зернові, такі як пшениця (14%), кукурудза (14%), рис (8,5%), овес (15,3%), ячмінь (9,2%), амарант (14,8%) [10, с. 17].

Насіння чіа мають вміст олії приблизно одну третину його маси, близько 60% якої є α -ліноленова кислота, що робить цей інгредієнт джерелом омега-3 жирних кислот. Такий сприятливий жирнокислотний склад вказує на функціональність насіння чіа як корисної добавки до їжі [12, с. 5].

В експерименті використовували насіння чіа, яке просіювали на трьох ситах із різним розміром вічок та цілі насіння. В результаті отримали такі зразки:

- зразок № 1 – цілі насіння чіа;
- зразок № 2 – насіння чіа грубого помолу (більші 1 мм);
- зразок № 3 – насіння чіа середнього помолу (менші 1 мм, але більші 0,75 мм);

зразок № 4 – насіння чіа мілкового помолу (менші 0,53 мм).

У відібрані зразки додавали дистильовану воду у співвідношенні 1:10 та витримували при кімнатній температурі протягом 4 годин. Після витримки було зазначено, що у всіх зразках утворився щільний гель. З рисунку 1 видно, що у зразку № 1, де насіння чіа цілі, гель утворює прозору капсулу навколо нього.



Рис. 1. Утворення гелю з цілого насіння чіа

Після гідратації пробірки центрифугували 20 хв. та вимірювали кількість виділеного гелю. В результаті центрифугування в кожному із зразків виділилася різна кількість надосадової рідини. З даних, представлених у таблиці 1, можна стверджувати про залежність об'єму виділеного гелю від ступеня подрібнення насіння чіа.

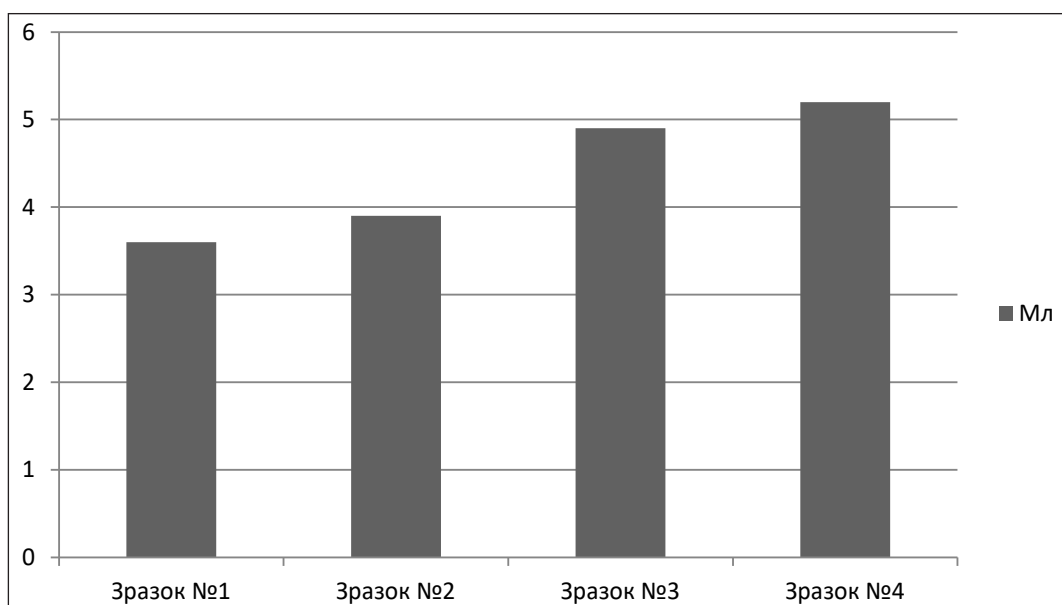


Рис. 2. Здатність насіння чіа до відділення гелю

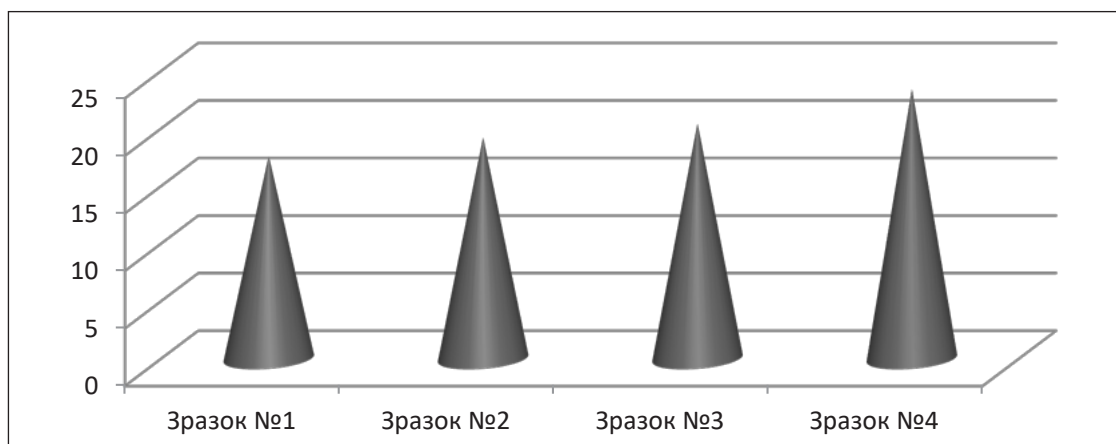


Рис. 3. Масова частка сухих речовин у зразках гелю

Таблиця 1

Кількісна оцінка виділеного гелю.

Зразки	Об'єм виділеного гелю
Зразок № 1	3,6±0,212
Зразок № 2	3,9±0,250
Зразок № 3	4,3±0,268
Зразок № 4	5,2±0,299

Як видно з рисунку 2, із збільшенням ступеня подрібнення насіння чіа збільшується здатність до відділення гелю. Це може пояснюватися тим, що гель локалізується в клітинних структурах перших трьох шарів оболонки і під час центрифугування краще утримує вологу. У зразку № 4, де найменше частинок оболонок, спостерігалася найбільша здатність до відділення гелю.

Масову частку сухих речовин у зразках гелю визначали висушуванням наважки до постійної маси. В процесі досліджень було визначено, що масова частка сухих речовин пропорційно залежить від ступеня подрібнення насіння чіа. З рисунку 2 видно, що у зразку № 4 найбільша масова частка сухих речовин екстрагувала в гель.

Отже, можна зробити висновок, що із збільшенням ступеня подрібнення насіння чіа зростає і масова частка сухих речовин у зразках. У процесі експерименту було визначено, що масова частка у зразку № 1 становить $17,576 \pm 0,216$, у зразку № 2 – $19,2 \pm 0,256$, у зразку № 3 – $20,4 \pm 0,376$, у зразку № 4 – $23,4 \pm 0,376$.

Висновки. У процесі експерименту було доведено, що ступінь подрібнення насіння чіа суттєво впливає на здатність до відділення гелю. Із збільшенням ступеня подрібнення насіння чіа здатність до відділення гелю збільшується. Установлено залежність екстрагування сухих речовин у гель. Досліджено, що для утворення більш міцного гелю потрібно використовувати всі складники насіння чіа, включно з верхніми шарами. Гель із насіння чіа може бути використаний у харчовій промисловості як натуральний структуроутворювач для м'ясних напівфабрикатів. У подальших дослідженнях планується вивчення хімічного складу виділеного гелю. З метою оптимізації виділення гелю з насіння чіа варто вивчити вплив температурного режиму на фізико-хімічні показники гелю.

Список літератури:

- Hernández L.M. Mucilage from chia seeds (*Salvia hispanica*): Microstructure, physico-chemical characterization and applications in food industry. PhD Thesis. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012. 146 p.
- Богданов В.Д., Сафронова Т.М. Структурообразователи и рыбные композиции. ВНИРО, 1993. 177 с.
- Timilsena Y. P., Adhikari R., Kasapis, S., Adhikari B. Rheological and microstructural properties of the chia seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015. V. 81. Pp. 991–999.
- Хромченкова Е.П., Макаренко М.А., Бессонов В.В. Применение муки из семян Чиа при производстве мучных кондитерских изделий. *Вопросы питания*. 2014. № 3. С. 206–207.
- Наумова Н.Л., Образцов А.Б., Козубцев М.В. Содержание отдельных минеральных элементов в печенье с добавлением растительных компонентов NutraChia Low 8. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2016. Том 6. С. 24–27.
- Лигостаев Д.Г., Наумова Н.Л., Лукин А.А. Стабильность качества лапши домашней при использовании NutraChia Low 8. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2017. Том 2(43). С. 17–22.

7. Наумова Н.Л., Берестовая Н.С. Актуальность и опыт применения муки чиа в хлебобулочном производстве. *Приоритеты и научное обеспечение реализации государственной политики здорового питания в России* : Мат. IV междунар. научн.-практ. конф., г. Орел, 15 ноября – 15 декабря 2015 г. С. 306–310.
8. Наумова Н.Л., Лукин А.А., Семиздралова В.В. ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ МЯСНОГО ХЛЕБА С ДОБАВЛЕНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016. Том 10 (144). С. 127–132.
9. EC (“Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the safety of chia (*Salvia hispanica* L.) seed and ground whole chia seed as a novel food ingredient intended for use in bread”). *The EFSA Journal*. 2005. № 278. Pp. 1–12.
10. Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies on a request from the European Commission on the safety of “Chia seed (*Salvia hispanica*) and ground whole Chia seed” as a food ingredient. *The EFSA Journal*. 2009. № 996. Pp. 1–26.
11. The European Union, Commission Implementing Decision of 22 January 2013 authorizing an extension of use of Chia seed (*Salvia hispanica*) as a novel food ingredient under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council). *Official Journal of the European Union*. 24.1.2013. Pp. 34–35.
12. Конь И.Я., Шилина М.Н., Гмошинская М.В., Бессонов В.В. и др. Медико-биологическое обоснование возможности использования муки из семян растения Чиа в питании детей старше трех лет : отчет о научно-исследовательской работе по теме. ФГБУ «НИИ питания». Москва, 2013. 22 с.
13. Capitani M.I., Ixtaina V.Y., Nolasco S.M., Tombs M. Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013. V. 93. no. 15. Pp. 3856–3862.
14. Ручкина Н. Чиа, шалфей испанский. *Химия и жизнь*. 2017. № 1. С. 54–56.
15. EC “Commission Decision of 13 October 2009 authorizing the placing on the market of Chia seed (*Salvia hispanica*) as a novel food ingredient under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council”. *The EFSA Journal*. 2009. № 996. Pp. 14–15.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЕМЯН ЧИА НА СПОСОБНОСТЬ К ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЮ

В статье исследовано влияние степени измельчения семян чиа на способность к гелеобразованию. Изучена зависимость извлечения сухих веществ в гель. Установлено, что с увеличением степени измельчения семян чиа растет доля экстрагирования сухих веществ в гель при одинаковых условиях эксперимента, в частности при комнатной температуре. Рассмотрена возможность использования семян чиа в виде целых зерен, крупного, среднего и мелкого дробления. Предложена возможность использования семян чиа как структуро-формирующей добавки для полуфабрикатов.

Ключевые слова: семена чиа, степень измельчения, гелеобразование, полуфабрикаты, содержание сухих веществ.

THE STUDYING OF THE INFLUENCE OF CHIA SEEDS GRINDING DEGREE TO THE GELATINAZATION ABILITY

In this article the influence of chia seeds grinding degree to the gelatinazation ability has been studied. It has been found the dry materials content in the separated gel of the samples with the method of drying. It has been determined that together with the increase of the chia seeds grinding degree the part of the extraction of dry materials into the gel grows under the same experiment conditions, especially at room temperature. It has been explored the possibility of the using of whole chia seeds, large, middle & fine grinding. It has been offered the possibility to use chia seeds as a structure-forming additive for the convenience food.

Key words: chia seeds, grinding degree, gelatinazation, convenience food, dry materials.

УДК 663.3-048.34

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/20>**Токар А.Ю.**

Уманський національний університет садівництва

Гайдай І.В.

Уманський національний університет садівництва

Матенчук Л.Ю.

Уманський національний університет садівництва

Харченко З.М.

Уманський національний університет садівництва

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БРОДІННЯ СУСЕЛ З ЯБЛУК СОРТУ АЙДАРЕД У ВИГОТОВЛЕННІ НЕКРІПЛЕНИХ СОЛОДКИХ ВИН

Наведено результати контролю за бродінням сусел з яблук сорту Айдаред під час виготовлення некріплених виноматеріалів. На основі отриманих даних оптимізовано процес накопичення етилового спирту (y , % об.) залежно від тривалості бродіння (x , доба) у вигляді математичної моделі за певних умов. Рекомендовано застосувати АСД рас ЕС 1118, ENSIS LE-5, ENSIS LE-6. Температура бродіння суслу 18–25 °С. Зокрема за масової концентрації цукрів у суслі до початку бродіння 266 г/дм³: $y = -0,005x^2 + 0,526x + 1,61$ (область застосування $x = 1 \dots 76$). Таку модель можна використати в контролі бродіння сусел, допустиме відхилення 0,85% об. Отримано критерії, за якими можна оцінити процес бродіння періодичним способом та взяти заходи з його регулювання.

Ключові слова: яблука сорту Айдаред, сусло, процес бродіння, оптимізація, дріжджі, некріплені виноматеріали.

Постановка проблеми. Плодово-ягідне вино є здоровим і якісним продуктом та здатне розширити асортимент цієї групи напоїв. За споживанням вина Україна на 88-му місці, що у 10–20 разів менше, ніж у розвинених країнах світу. Після прийняття у 2018 р. законопроекту «Про внесення змін до деяких законодавчих актів щодо розвитку виробництва терруарних вин та натуральних медових напоїв» дозволено малому виноробству виготовляти тільки натуральні сортові або купажні вина на основі бродіння винограду, різних плодів, ягід або меду, без застосування кріплення спиртом-ректифікатом. Тому оптимізація процесу бродіння яблучних сусел із метою виготовлення некріплених виноматеріалів із достатньою об'ємною часткою етилового спирту є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біотехнологічний процес бродіння характеризується великою кількістю різноманітних реакцій і перетворень. У результаті бродіння змінюється склад суслу, накопичуються нові продукти, проходять складні біохімічні, фізичні і хімічні перетворення системи, в результаті яких із виноградного соку утворюється вино [1, с. 125].

Аналогічно спиртове бродіння плодово-ягідних сусел є багатоступеневим складним проце-

сом, під час якого в результаті життєдіяльності дріжджів утворюється два головних продукти – етиловий спирт і діоксид вуглецю, а також низка так званих вторинних продуктів. Хімізм бродіння детально викладено у працях професорів З.Н. Кишковського, І.М. Скуріхіна, Н.І. Бур'ян, Г.Г. Валуйко [2, с. 45].

Солодкі плодово-ягідні вина – це некріплені вина, які готують зброджуванням підсолоджененого суслу з таким розрахунком, щоб забезпечити накопичення етилового спирту вище нижньої межі для кожної марки на 1,2–1,4%. Дозволяється використовувати виноматеріал за наявності залишкового цукру не більше 1,0 г / 100 см³. Для забезпечення об'ємної частки етилового спирту в готовому солодкому вині 13%, необхідно приготувати виноматеріал, що має вміст 14,2–14,3%, а масова концентрація цукрів у перерахунку на інвертний у вихідному суслі має бути 24,1–24,3 г / 100 см³. Для забезпечення об'ємної частки етилового спирту в готовому солодкому вині 14% необхідно приготувати виноматеріал, що має вміст 15,3–15,4%, а масова концентрація цукрів у перерахунку на інвертний у вихідному суслі має бути 26,0–26,1 г / 100 см³ [3, с. 92]. Для виробництва таких вин необхідне створення та підтримування

оптимальних умов для проходження процесу бродіння шляхом вибору відповідної раси дріжджів [4, с. 39; 5, с. 100], а забезпечення складу компонентів поживного середовища з метою коректування та фізико-хімічних, естетичних, органолептичних та біологічних показників якості виноматеріалів і вин є актуальним завданням для виноробів [6; 7].

Складність у виробництві некріплених виноматеріалів полягає у тривалому процесі бродіння. За даними Н.А. Мехузла, А.Л. Панасюк [8, с. 135], тривалість бродіння таких сусел може сягати 4 місяців. Критерії для оцінки того, що процес протікає в оптимальному режимі, відсутні, тому пошуки оптимізації процесу бродіння залежно від різних факторів є необхідною умовою для забезпечення успіху [9].

Постановка завдання. Оптимізація процесу бродіння сусел з яблук сорту Айдаред задля отримання критеріїв для порівняння фактичних результатів контролю та своєчасне передбачення кінцевого результату було завданням наших досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводились у 2014–2016 рр. на кафедрі технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва.

Об'єктами досліджень у нашій роботі були соки, отримані з яблук сорту Айдаред, вирощених у навчально-науково-виробничому відділі університету.

Яблука мили, інспектували та подрібнювали на лабораторній дробарці. Сік одержували шляхом пресування яблучної м'язги на лабораторному пресі. Вихід соку становив 50,4–55,4%.

В одержаних соках і суслах визначали масову концентрацію цукрів, кислот, густину (табл. 1), на основі яких готували сусла. Користувались стандартними методиками визначення показників якості. До соків додавали необхідну кількість цукру-піску з метою набродження об'ємної частки етилового спирту 15,5% та одержання стійкого виноматеріалу, придатного для виготовлення некріплених натуральних вин.

Сусла пастеризували за температури 80–85°C упродовж 3–5 хв. Застосовували чисту культуру дріжджів, зокрема раси EC 1118 (контроль), ENSIS LE – CI, ENSIS LE – 1, ENSIS LE – 5, ENSIS LE – 6. Бродіння проводили при температурі 18–25°C. Регулярно проводили контроль за бродінням шляхом зважування сусел. Після закінчення бродіння, ущільнення осаду виноматеріали декантували і визначали в них об'ємну частку етилового спирту аерометричним методом згідно з ДСТУ 4112.3:2002 [10].

Результати досліджень обробляли дисперсійним, кореляційним і регресійним методом аналізу із застосуванням відповідних комп'ютерних програм.

Різні раси дріжджів впливали неоднаково як на тривалість бродіння, так і на накопичення об'ємної частки етилового спирту. Динаміка накопичення етилового спирту в суслах з яблук урожаю 2014 р. показана на рисунку 1.

У 2014 р. найбільш інтенсивно процес розпочався у варіанті з расою дріжджів ENSIS LE–5, де на п'яту добу об'ємна частка етилового спирту була 4,9%. І в наступний період, до 12-ї доби цей варіант переважав інші. Але на 22-у добу найвища об'ємна частка етилового спирту була в суслі з

Таблиця 1

Акт приготування сусла із яблук сорту Айдаред

Назва матеріалів	Кількість		Густина г/см ³	Вміст інвертного цукру		Вміст кислот в перерахунку на яблучну	
	см ³	г		г/100см ³	г	г/дм ³	г
Сік яблучний	4140	4392,5	1,061	12,5	517,5	8,6	35,6
Цукор	407,7	656,6 (657,6)			691,2		
Сусло	4547,7	5050,1	1,111	26,6	1208,7	7,83	35,6
2015 рік							
Сік яблучний	5200	5460	1,050	11,2	582,4	6,4	33,28
Цукор	559,3	900,7 (902,1)			948,1		
Сусло	5759,3	6362,1	1,105	26,6	1530,5	5,78	33,28

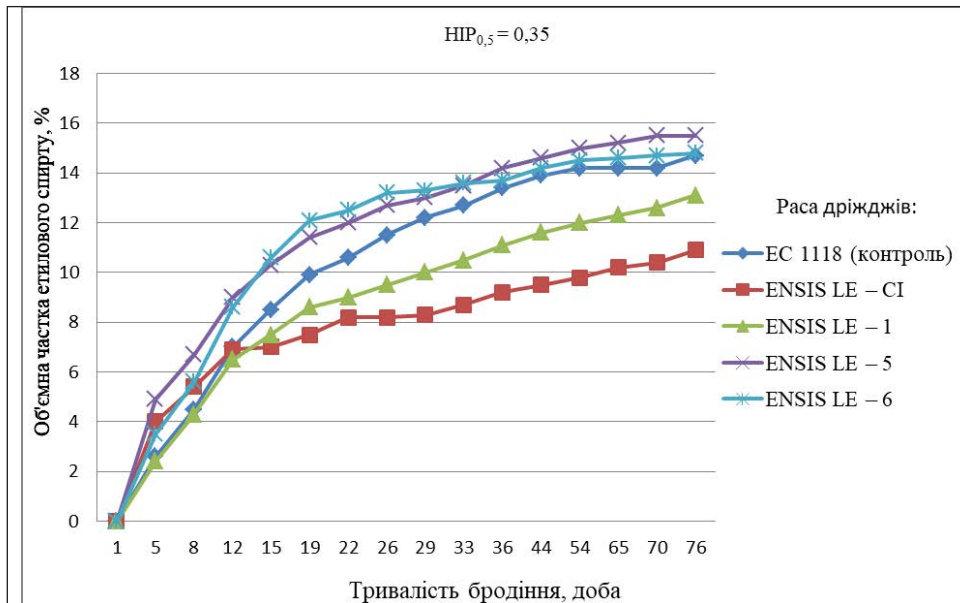


Рис. 1. Накопичення етилового спирту в виноматеріалі з яблук сорту Айдаред 2014 р. врожаю

расою дріжджів ENSIS LE-6. У наступні періоди різниці вмісту етилового спирту між цими варіантами були 0,1–0,8% об. Наприкінці бродіння найвищий вміст етилового спирту, 15,5%, був у суслі, що зброджувалось расою дріжджів ENSIS LE-5. Цей варіант переважав всі інші варіанти, а також контрольний.

Кращими виявились варіанти із застосуванням рас дріжджів ENSIS LE-5, ENSIS LE-6 та EC 1118 (контроль). Результати дисперсійного аналізу показали на істотний вплив обох факторів на накопичення етилового спирту в суслі: А – раса дріжджів (14%), В – тривалість бродіння (81%).

У 2015 р. (рис. 2) отримали гірші результати. Процес бродіння завершився аж через 98 діб, тоді як у 2014 – за 70–76 діб. Кращими за об'ємною часткою етилового спирту були також варіанти з расами дріжджів ENSIS LE-5, ENSIS LE-6 та EC 1118 (контроль). У варіантах із расами дріжджів ENSIS LE-C1 і ENSIS LE-1 отримали незадовільні результати.

Результати дисперсійного аналізу даних у 2015 р. показали на істотний вплив обох факторів на накопичення етилового спирту в суслі: А – раса дріжджів (13%), В – тривалість бродіння (82%).

Нами було прийнято рішення оптимізувати процес залежно від тривалості бродіння (переважаючий фактор). Для оптимізації взято результати контролю за бродінням сусел у 2014 р. (табл. 2).

За середніми даними (табл. 2) провели кореляційний та регресійний аналізи та побудували модель оптимального процесу бродіння для сусле яблук сорту Айдаред із масовою концентрацією цукрів на початок бродіння 266 г/дм³ (рис. 3). Гарним результатом бродіння є, коли об'ємна частка етилового спирту на 26 добу перевищить 13%.

Для аналізу отриманої криволінійної залежності склали таблицю 3 [11, с. 260–266].

Кореляційне відношення η_{yx} розраховували за формулою (1):

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(Y-\bar{y})^2 - (Y-\bar{y}_x)^2}{\sum(Y-\bar{y})^2}} = \sqrt{\frac{168,23 - 12,71}{168,23}} \approx 0,92, \quad (1)$$

Таблиця 2

Дані контролю за бродінням, взяті для оптимізації процесу бродіння сусел з яблук сорту Айдаред

Дріжджі	Доба														
	5	8	12	15	19	22	26	29	33	36	44	54	65	70	76
EC-1118	2,6	4,5	7,0	8,5	9,9	10,6	11,5	12,2	12,6	13,4	13,9	14,2	14,2	14,2	14,7
ENSIS LE -5	4,9	6,7	9,0	10,3	11,4	12,0	12,7	13,0	13,5	14,2	14,6	15,0	15,0	15,5	15,5
ENSIS LE -6	3,5	5,6	8,6	10,5	12,1	12,5	13,2	13,3	13,6	13,7	14,2	14,5	14,6	14,7	14,8
Середнє значення	3,7	5,6	8,2	9,8	11,1	11,7	12,54	12,8	13,2	13,8	14,2	14,6	14,6	14,8	14,8

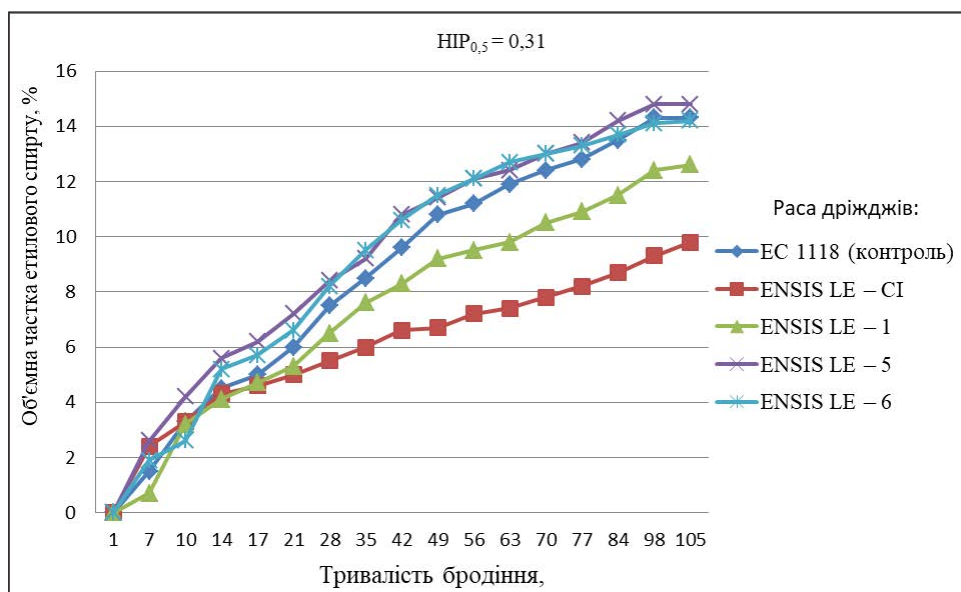


Рис. 2. Накопичення етилового спирту в виноматеріалі з яблук сорту Айдаред 2015 року врожаю

Таблиця 3

Накопичення етилового спирту (Y) залежно від тривалості процесу бродіння

Доба	Y	\bar{y}_x	$Y - \bar{y}_x$	$(Y - \bar{y}_x)^2$	$Y - \bar{y}$	$(Y - \bar{y})^2$
5	3,7	4,1	-0,4	0,16	-8,0	64,0
8	5,6	5,5	0,1	0,01	-6,1	37,21
12	8,2	7,2	1,0	1,00	-3,5	12,25
15	9,8	8,4	1,4	1,96	-1,9	3,61
19	11,1	9,8	1,3	1,69	-0,6	0,36
22	11,7	10,8	0,9	0,81	0,0	0,00
26	12,5	11,9	0,6	0,36	0,8	0,64
29	12,8	12,7	0,1	0,01	1,1	1,21
33	13,2	13,5	-0,3	0,09	1,5	2,25
36	13,8	14,1	-0,3	0,09	2,1	4,41
44	14,2	15,1	-0,9	0,81	2,5	6,25
54	14,6	15,3	-0,7	0,49	2,9	8,41
65	14,6	14,7	-0,1	0,01	2,9	8,41
70	14,8	13,9	0,9	0,81	3,1	9,61
76	14,8	12,7	2,1	4,41	3,1	9,61
	$\bar{y} = 11,7$		$\Sigma (Y - \bar{y}_x) = 5,7$	$\Sigma (Y - \bar{y})^2 = 12,71$	$\Sigma (Y - \bar{y}) = 0$	$\Sigma (Y - \bar{y})^2 = 168,23$

Оскільки кореляційне відношення становить 0,92 і знаходиться в межах 0,66–0,99, це підтверджує, що між накопиченням етилового спирту і тривалістю бродіння зв'язок сильний.

Далі обчислювали похибку кореляційного відношення за формулою (2):

$$S_{\eta_{yx}} \sqrt{\frac{1 - \eta_{yx}^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,92^2}{15 - 2}} = 0,012, \quad (2)$$

Достовірність зв'язку перевіряли, розраховуючи критерій достовірності фактичний за формулою (3):

$$t_{\eta} = \frac{\eta_{xy}}{S_{\eta_{yx}}} = \frac{0,92}{0,012} = 76,7, \quad (3)$$

Критерій Стюдента теоретичний знаходять за числом ступенів вільності за формулою (4),

$$v_{\eta} = n - 2 = 15 - 2 = 13, \quad (4)$$

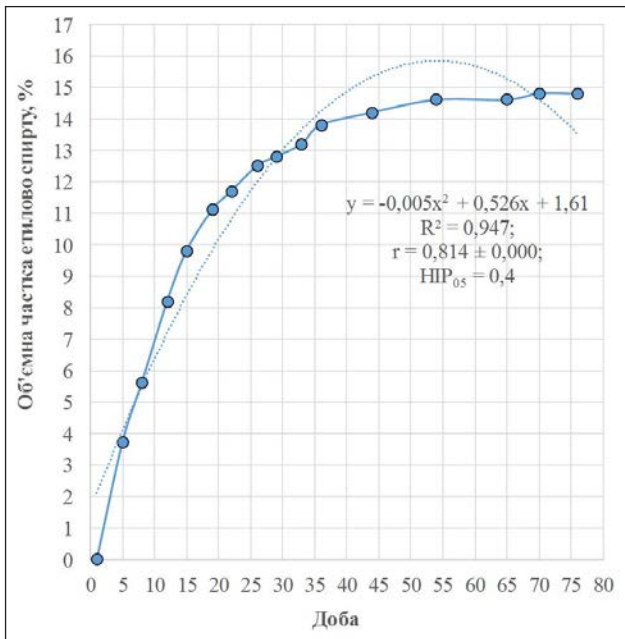


Рис. 3. Динаміка накопичення етилового спирту в суслі з початковим вмістом цукрів 266 г/дм³ з яблук сорту Айдаред за оптимального проходження процесу бродіння

Тоді $t_{0,95} = 2,16$, $at_{0,99} = 3,01$.

Оскільки критерій Стьюдента фактичний $t_{\eta} = 76,7$ більший за $t_{0,95}$ і $t_{0,99}$, зв'язок достовірний на обох рівнях надійної імовірності.

Відхилення (y) від оптимального значення знаходили за формулою (5):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y}_x)^2}{n}} = \sqrt{\frac{12,71}{15}} = 0,85\%, \quad (5)$$

Список літератури:

1. Хімія та біохімія вина / [Доморецький В.А., Маринченко В.О., Білько М.В., Мацко О.П., Василичка С.М.]; за ред. А.І. Українця. Київ : НУХТ, 2007. 261 с.
2. Литовченко А.М., Тюрин С.Т. Технология плодово-ягодных вин. Симферополь: Таврида, 2004. 368 с.
3. Литовченко В.П. и др. Сборник технологических инструкций и нормативных материалов по плодово-ягодному виноделию. Кн. 2: Учет и отчетность при переработке плодов и ягод / Под ред. д.т.н. А.М. Литовченко. Дніпропетровськ: Січ, 1998. 290 с.
4. Soares-Lepe J.A., Morata A. New trends in yeast selection for winemaking. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 23, Issue 1, January 2012. P. 39–50.
5. Масляк Н. Новые биотехнологические приемы корпорации «Лаллеманд». *Вино та виноробство* : матеріали VI Міжнародної спеціалізованої виставки-симпозіуму. Одеса : Морвокзал, 2006. С. 100.
6. Bisson L.F. Stuck and sluggish fermentations. *Am. J. Enol. Vitic.* 1999. Vol. 50. № 1. P. 107–119.
7. High alcohol wine production from grape juice concentrates / W.A. Buescher, C.E. Siler, J.R. Morris, R.T. Threlfall, G.L. Main, G.C. Cone. *Am. J. Enol. Vitic.* 2001. Vol. 52. № 4. P. 345–351.
8. Мехузла Н.А., Панасюк А.Л. Плодово-ягодные вина. Москва: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. 240 с.
9. Sharma S.K., Joshi V.K. Optimization of some factors for secondary bottle fermentation for production of sparkling plum (*Prunus salicina*) wine. *Indian J. exper. Biol.* 1996. Vol. 34. № 3. P. 235–238.
10. Визначення вмісту етилового спирту. Контрольний метод. Вина та виноматеріали: ДСТУ 4112.3:2002. [Чинний від 2003–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 6 с.
11. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / [В.О. Єщенко, П.Г. Копитко, В.П. Опришко, П.В. Костогриз]; за ред. В.О. Єщенка. Київ : Дія, 2005. 288 с.

Динаміка накопичення етилового спирту описана рівнянням квадратичної параболи, що має загальний вигляд: $y' = Ax^2 + Bx + C$.

Швидкість проходження процесу (y') є похідною від рівняння та може бути визначена в будь-який день (x) за рівнянням: $y' = 2Ax + B + 0$. Зокрема, при зброджуванні сусел з яблук сорту Айдаред із концентрацією цукрів на початок бродіння: $y' = 0,526 - 0,010x$. Отже, порівнявши фактичну швидкість накопичення етилового спирту в суслі з порахованою відповідно до моделі, можна додатково своєчасно оцінити, наскільки дійсний процес відрізняється від оптимального.

Висновки. Задля зброджування сусел з яблук сорту Айдаред рекомендовано застосовувати активні сухі дріжджі раси ENSIS LE-5, ENSIS LE-6 чи EC 1118. Температура бродіння сусла 18–25 °С.

Об'ємна частка етилового спирту (y , %) у суслі з масовою концентрацією цукрів до початку бродіння 266 г/дм³ з яблук сорту Айдаред за оптимального проходження процесу може бути прогнозована залежно від тривалості бродіння (x , доба) за моделлю у вигляді рівняння: $y = 0,005x^2 + 0,526x + 1,61$. Область застосування $x = 0–76$ діб.

Користуючись моделлю, можна своєчасно оцінити проходження процесу бродіння та вжити заходів щодо його покращення. Гарним результатом може бути також вміст етилового спирту в суслі 13% об. на 26-у добу.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ СУСЕЛ ИЗ ЯБЛОК СОРТА АЙДАРЕД В ПРИГОТОВЛЕНИИ НЕКРЕПЛЕННЫХ СЛАДКИХ ВИН

Приведены результаты контроля за брожением сусел из яблок сорта Айдаред при изготовлении некрепленых виноматериалов. На основании полученных данных оптимизирован процесс накопления этилового спирта (в % об.) в зависимости от продолжительности брожения (x, сутки) в виде математической модели при определенных условиях. Рекомендовано использовать АСД расы ЕС 1118, ENSIS LE-5, ENSIS LE-6. Температура брожения сусла 18–25 °С. При массовой концентрации сахаров в сусле до начала брожения равной 266 г/дм³: $y = -0,005x^2 + 0,526x + 1,61$ (область применения $x = 1 \dots 76$). Эту модель можно использовать в контроле брожения сусел, допустимое отклонение 0,85% об. Получены критерии, по которым можно оценить процесс брожения периодическим способом и принять меры для его регулирования.

Ключевые слова: яблоки сорта Айдаред, сусло, процесс брожения, оптимизация, дрожжи, некрепленые виноматериалы.

THE OPTIMIZATION OF THE FERMENTATION PROCESS OF A WORT FROM APPLES AIDARED IN THE PRODUCTION OF THE UNFORTIFIED SWEET WINES

The results of the control of the wort fermentation from apples Aidared in the production of unfortified wine materials are given. On the basis of the obtained data, the process of accumulation of ethyl alcohol (y,% vol.), depending on the duration of fermentation (x, day) in the form of mathematical model under certain conditions is optimized. It is recommended to use the ASD races of EC 1118, ENSIS LE-5, ENSIS LE-6. The fermentation temperature of the wort is 18-25 °C. In particular for mass concentration of sugar in the wort before the beginning of fermentation 266 g / dm³: $y = -0,005x^2 + 0,526x + 1,61$ (application area $x = 1 \dots 76$). This model can be used to control the wort fermentation, with a tolerance of 0.85% v / v. The criteria for estimating the fermentation process in a periodic way and taking measures for its regulation are obtained.

Key words: Aidared apples, wort, fermentation process, optimization, yeast, unfortified wine materials.

УДК 637.247.044-021.146.4:664.84-049.34
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/21>

Трубнікова А.А.

Одеська національна академія харчових технологій

Чабанова О.Б.

Одеська національна академія харчових технологій

Шарахматова Т.Є.

Одеська національна академія харчових технологій

Бондар С.М.

Одеська національна академія харчових технологій

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ЗБЕРІГАННЯ СУХОГО БЕЗЛАКТОЗНОГО БІЛКОВО-ЛІПІДНОГО КОНЦЕНТРАТУ МАСЛЯНКИ

Збереження харчової та біологічної цінності сухих молочних білкових концентратів можливе тільки за умови їх правильного зберігання. У процесі зберігання можливі подальші фізико-хімічні зміни складових частин сухих молочних білкових концентратів, у результаті яких змінюються розчинність, колір, смак, тощо. Стійкість сухих молочних концентратів при зберіганні визначається, в першу чергу, вмістом в них вологи, вільного жиру, а також умовами зберігання (герметичність упаковки, температура і вологість навколишнього повітря тощо). Термін придатності зразків сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки визначали за органолептичними, фізико-хімічними, мікробіологічними, структурно-механічними показниками якості. Результати проведених досліджень дають змогу стверджувати, що гарантований термін зберігання досліджуваного продукту – не більше 6 місяців за температури 0–25°C при відносній вологості повітря не більше 65%. Протягом цього часу органолептичні показники дослідних зразків не змінювались; активна кислотність зразків наприкінці зберігання не перевищувала 6,49 од. рН (при відновленні до СЗМЗ=17%); бактерії групи кишкових паличок в 0,01 г продукту не виявлено; кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів – $3,0 \cdot 10^4$ КУО в 1 г продукту, що не перевищує норму (не більше ніж $1 \cdot 10^5$ КУО в 1 г продукту). Регідратація сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки погіршувалася за тривалого зберігання при температурах вище 25°C. При зберіганні сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки протягом 12 місяців піноутворювальна здатність знижується на 10,0%, емульгувальна здатність – на 13,3%, а розчинність – на 2,6%. Через 6 місяців показники практично не змінюються. Незначні зміни фізико-хімічних показників зразків, а саме активної кислотності, кислотного і перекисного чисел, не впливають на органолептичні показники продукту, а відсутність бактерій групи кишкових паличок та патогенних мікроорганізмів протягом 6 місяців зберігання при температурі 0–25 °C та відносній вологості повітря не більше 65% є вагомим доказом правильності вибору всіх режимів основних технологічних процесів та свідчать про збереження якості продукту у процесі зберігання і його повну відповідність усім вимогам нормативно-технічної документації.

Ключові слова: сухий безлактозний білково-ліпідний концентрат маслянки, зберігання, режим, показники якості.

Постановка проблеми. Збереження якісного складу сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки протягом усього терміну придатності – важливе завдання, що стоїть перед виробниками. Термін придатності визначають за фізико-хімічними, мікробіологічними показниками режиму зберігання, транспортування та реалізації сухого продукту.

У процесі зберігання можливі подальші фізико-хімічні та функціонально-технологічні зміни складових частин сухих молочних білко-

вих концентратів, в результаті яких змінюються розчинність, колір, смак, біологічна цінність продуктів тощо. Стійкість сухих молочних концентратів при зберіганні визначається, насамперед, вмістом у них вологи, вільного жиру, а також умовами зберігання (герметичність упаковки, температура і вологість навколишнього повітря тощо).

Метою роботи є обґрунтування режимів зберігання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки.

Задля досягнення мети були поставлені такі завдання:

- дослідити органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату при зберіганні;
- визначити функціонально-технологічні показники (піноутворювальну здатність, емульгуювальну здатність, розчинність) при зберіганні;
- визначити температуру та тривалість зберігання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Молочні білкові концентрати (КМБ) були класифіковані як молочні інгредієнти другого покоління [1], що містять від 40 до 89% білка в перерахунку на сухі речовини.

Автори [2] класифікували сухі молочні білкові концентрати на 3 основні типи: (а) порошок із низьким вмістом білка ($\leq 40\%$ вмісту білка), (б) порошок із середнім вмістом білка (60–70% вмісту білка), і (в) високобілковий порошок ($\geq 80\%$ вмісту білка). Таким чином, вміст білка будь-якого концентрату молочних білків (КМБ) може становити від ≥ 40 до $\leq 89\%$. Вміст білка в КМБ обернено пропорційний вмісту лактози і мінералів (золи), іншими словами, білок очищається шляхом зменшення вмісту лактози і мінеральних солей. Як молочні білкові інгредієнти, КМБ використовуються в різних продуктах, як-от сир, молочні продукти, харчові продукти, молочні суміші, морозиво, молочні напої, спортивні напої та медичні продукти [10–14].

У роботі [3] авторами досліджено вплив температури зберігання (20–50°C) і часу (0–60 днів) на сичужні властивості молочного білкового концентрату з масовою часткою білку 85%. Відновлене знежирене молоко збагачували за допомогою КМБ 85, а сичужні властивості знежиреного молока/системи КМБ 85 досліджували за допомогою реології. Було встановлено, що межа текучості знежиреного молока/гелю КМБ 85 знижується експоненціально з часом зберігання КМБ 85 для температур зберігання більше 20°C. Зміни в розчинності КМБ 85 із часом зберігання корелювали з реологічними властивостями.

Вплив часу зберігання і температури на розчинність концентрату молочного білка (КМБ 85) досліджували з використанням тестів на розчинність, гель-електрофорезу і мас-спектрометрії в роботі [4]. Було виявлено, що при даній температурі розчинність КМБ 85 експоненціально знижувалась. Нерозчинними білками були казеїни,

тоді як сироваткові білки залишалися розчинними.

В роботі [2] досліджували вплив на розчинність сухих порошоків КМБ 80 обробки NaCl або KCl. Результати показали, що порошки КМБ 80, оброблені NaCl або KCl, мали високу розчинність після 1 години зберігання при 4 і 25°C. Більш висока розчинність спостерігалась у зразках КМБ 80, оброблених моновалентними солями при зберіганні при 4°C і 25°C. Однак погана розчинність спостерігалась для контрольних зразків при всіх температурах і для оброблених солями зразків, що зберігалися при 55°C.

Автори в статті [5] досліджували зміни структури, кольору та мікробіологічних показників молочно-білкових концентратів (МБК), виготовлених із пахти з використанням журавлинних або калинових пюре в процесі зберігання. Необхідні результати були отримані після аналізу фазових переходів, зміни колірно-параметричних та мікробіологічних характеристик досліджуваних продуктів.

Вплив параметрів низькотемпературного заморожування і термінів зберігання на показники якості молочно-білкових концентратів (МБК) зі сколотин вивчено авторами в роботі [6]. Встановлено, що використання пюре калини і журавлини як коагулянтів сприяють збільшенню частки зв'язаної вологи і поліпшенню зберігання продуктів. Визначено зміни кольоропараметричних характеристик концентратів при зберіганні. Обґрунтовано режими і терміни зберігання МБК.

У всіх наведених роботах досліджували показники якості, насамперед розчинність, при зберіганні у концентратах, що містять лактозу. Даних щодо зберігання безлактозних концентратів молочних білків у літературі не зустрічається. Тому потребує відповідних знань вивчення органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних і функціонально-технологічних властивостей безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки при зберіганні.

Ця праця є продовженням роботи авторів [7–8].

Об'єкт дослідження – сухий безлактозний білково-ліпідний концентрат маслянки (ББКМ), що отриманий у лабораторних умовах із використанням мембранних методів (УФ/ДФ, НФ). Отриманий сухий ББКМ – дрібний порошок, що має білий із легким кремовим відтінком колір, чистий, молочний смак та запах, без сторонніх присмаків і запахів. Фізико-хімічний склад та мікробіологічні показники отриманого в лабораторних умовах сухого ББКМ наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники
сухого безлактозного білково-ліпідного
концентрату маслянки**

Найменування показника	Значення	
	ФК=4	ФК=5
Масова частка води, %	4,71	4,95
Масова частка жиру, %	10,24	10,24
Масова частка білків, %	80,54	81,19
Масова частка золи, %	4,45	3,57
Масова частка лактози, %	0,064	0,051
Активна кислотність відновленого ББКМ до СЗМЗ=13,5%, од. рН	6,54	–
Активна кислотність відновленого ББКМ до СЗМЗ=17%, од. рН	–	6,51

Таблиця 2

**Мікробіологічні показники
сухого безлактозного білково-ліпідного
концентрату маслянки**

Назва показника	Значення
Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г продукту	$1 \cdot 10^3$
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), в 0,1 г	Не виявлено
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду Сальмонела, в 25 г	Не виявлено

У дослідженні застосовувались стандартні методики визначення органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних та функціонально-технологічних показників якості сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки.

Виклад основного матеріалу дослідження. В процесі зберігання сухих молочних білкових концентратів змінюються фізико-хімічні та функціонально-технологічні показники якості. Одним із таких показників є розчинність.

Зміна розчинності залежно від температури зберігання наведені в табл. 3.

Сухий безлактозний білково-ліпідний концентрат маслянки (ББКМ) зберігали при температурі 0–45°C з шагом 10 °C і відносній вологості повітря не вище 65%. Зразки зберігали упакованими у чотири шарові крафт-мішки з поліетиленовими вкладками, горловину мішків заварювали.

Таблиця 3

**Вплив температури зберігання на розчинність
сухого ББКМ (термін зберігання 3 місяці)**

Температура зберігання сухого ББКМ, °C	Розчинність, %
0	97
10	97
15	97
25	97
35	95
45	92

Як видно з табл. 3, регідратація сухого ББКМ погіршувалася за тривалого зберігання при температурах вище 25°C.

Контроль якості сухого ББКМ, що зберігали при температурі 15°C, проводили за органолептичними, мікробіологічними, функціонально-технологічними показниками (розчинність, в'язкість) протягом 12 місяців (табл. 4, 5).

Згідно з даними табл. 4 не відбувалось змін органолептичних показників протягом 6 місяців. Через 9 місяців у продукті з'явився гіркий смак, що зумовлено пептизацією білків і утворенням альдегідів, кетонів, кето- і оксикислот у результаті окислення ненасичених жирних кислот, та колір продукту змінився на кремовий.

Активна кислотність відновленого безлактозного концентрату маслянки з масовою часткою СЗМЗ 17,0% для свіжовиробленого сухого продукту становила 6,51 од. рН, через 6 місяців – 6,49 од. рН, через 9 місяців – 6,44 од. рН. Кислотне та перекисне числа перед закладанням на зберігання становили 0,5 мг КОН на 1 г продукту та 0,015% J відповідно. Через 6 місяців зміни були

Таблиця 4

**Органолептичні показники сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки
під час зберігання при температурі 15°C**

Назва показника	Свіжовироблений сухий ББКМ	Зміна показників за тривалості зберігання			
		через 3 місяців	через 6 місяців	через 9 місяців	через 12 місяців
Смак і запах	чистий, смак, виражений молочний запах	без зміни		наявність гіркого смаку, рибного запаху	
Консистенція	сухий дрібний порошок	без зміни			
Колір	білий із легким кремовим відтінком	без зміни		кремовий відтінок	

Мікробіологічні показники сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки під час зберігання при температурі 15°C

Назва показника	Норма	Вміст мікроорганізмів за тривалості зберігання			
		через 3 місяців	через 6 місяців	через 9 місяців	через 12 місяців
Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г продукту, не більше	$1 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), в 0,01 г	Не допускається	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду Сальмонела, в 25 г	Не допускається	Не виявлено			

Таблиця 6

Функціонально-технологічні показники сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки (ББКМ) під час зберігання при температурі 15°C

Назва показника	Контроль (суха маслянка)	Свіжовироблений сухий ББКМ	Функціонально-технологічні показники за тривалості зберігання			
			через 3 місяців	через 6 місяців	через 9 місяців	через 12 місяців
Піноутворювальна здатність, %	$5,0 \pm 1,5$	$250 \pm 1,5$	$250 \pm 1,5$	$250 \pm 1,5$	$241 \pm 1,5$	$225 \pm 1,5$
Емульгуювальна здатність, %	$38,0 \pm 1,5$	$45,0 \pm 1,5$	$45,0 \pm 1,5$	$45,0 \pm 1,5$	$43,0 \pm 1,5$	$39,0 \pm 1,5$
Розчинність, %	$99,0 \pm 1,5$	$97,0 \pm 1,5$	$97,0 \pm 1,5$	$96,2 \pm 1,5$	$95,7 \pm 1,5$	$94,5 \pm 1,5$

незначні, а через 9 місяців кислотне та перекисне числа підвищились – 1,5 мг КОН на 1 г продукту та 0,032% J відповідно. Це говорить про неможливість подальшого зберігання продукту.

Згідно з аналізом мікробіологічних досліджень (табл. 5), гарантований термін зберігання сухого ББКМ не більше 6 місяців при температурі 0–25°C.

Протягом 12 місяців у відновлювальному продукті визначали розчинність, піноутворювальну здатність, емульгуювальну здатність (табл. 6). За контроль обрано суху маслянку (вироблено у США).

Аналіз даних табл. 6 свідчить, що при зберіганні сухого ББКМ протягом 12 місяців піноутворювальна здатність знижується на 10,0%, емульгуювальна здатність – на 13,3%, а розчинність – на 2,6%. Через 6 місяців показники практично не змінюються. Зниження функціонально-технологічних показників ББКМ пов'язано з денатурацією білків та окисленням ліпідів.

Таким чином, результати досліджень дали змогу визначити термін зберігання сухого ББКМ

не більше 6 місяців за температури 0–25 °C та відносної вологості повітря не більше 65%.

Висновки. Гарантований термін зберігання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки 6 місяців за температури від 0 до 25 °C і відносної вологості повітря не більше 65%. Протягом цього часу органолептичні показники дослідних зразків не змінювались; активна кислотність зразків наприкінці зберігання не перевищувала 6,49 од. рН (при відновленні ББКМ до СЗМЗ=17%); бактерії групи кишкових паличок в 0,01 г продукту не виявлено; кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів – $3,0 \cdot 10^4$ КУО в 1 г продукту, що не перевищує норму (не більше ніж $1 \cdot 10^5$ КУО в 1 г продукту).

У процесі зберігання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки протягом 12 місяців піноутворювальна здатність знизилась на 10,0%, емульгуювальна здатність – на 13,3%, а розчинність – на 2,6%. Через 6 місяців показники практично не змінилися.

Список літератури:

1. Havea P. Protein interactions in milk protein concentrate powders. *International Dairy Journal*. 2006. Т. 16. №. 5. С. 415–422. DOI: 10.1016/j.idairyj.2005.06.005.

2. Sikand V., Tong P.S., Walker J., Wang T., Rodriguez-Saona L.E. Short communication: Effect of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate 80 (MPC80) treated with NaCl or KCl. *Journal of Dairy Science*. 2016. № 99(3). March. P. 1791–1795.

3. Hunter R.J., Hemar Y., Pinder D.N., Anema S.G. Effect of storage time and temperature of milk protein concentrate (MPC85) on the renneting properties of skim milk fortified with MPC85. *Journal Article In AGRIS since*. Amsterdam, 2013. Volume 125. Issue 3. Pp. 944–952.

4. Anema S.G., Pinder D.N., Hunter R.J., Hemar Y. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). *Food Hydrocolloids*. Volume 20. Issues 2–3. March–May 2006. P. 386–393.

5. Gnitsevych V., Yudina T., Deinychenko L., Nykyforov R., Nazarenko I. Influence of milk protein concentrates with modified calcium content on enteral dairy beverage formulations: Physicochemical properties. *Journal of dairy science*. 2018. T. 101. №. 11. С. 9714–9724.

6. Gnitsevych V., Yudina T., Deinychenko L., Nykyforov R., Nazarenko I. Исследование характеристик молочно-белковых концентратов в процессе низкотемпературного хранения. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2018. Т. 1. №. 11. С. 16–21.

7. Bondar S., Trubnikova A., Chabanova O. Дослідження мембранного процесу видалення лактози з концентрату маслянки. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2018. Т. 20. № 85. С. 62–69.

8. Bondar S., Chabanova O., Sharakhmatova T., Trubnikova A. Analysis of a new diafiltration method of cleaning buttermilk from lactose with mineral composition preserved. *Харчова наука та технологія*. 2018. Т. 12. № 1. С. 90–98.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ХРАНЕНИЯ СУХОГО БЕЗЛАКТОЗНОГО БЕЛКОВО-ЛИПИДНОГО КОНЦЕНТРАТА ПАХТЫ

Сохранение пищевой и биологической ценности сухих молочных белковых концентратов возможно только при их правильном хранении. В процессе хранения возможны дальнейшие физико-химические изменения составных частей сухих молочных белковых концентратов, в результате которых изменяются растворимость, цвет, вкус и тому подобное. Устойчивость сухих молочных концентратов при хранении определяется, в первую очередь, содержанием в них влаги, свободного жира, а также условиями хранения (герметичность упаковки, температура и влажность окружающего воздуха и т.д.). Срок годности образцов сухого безлактозного белково-липидного концентрата пахты определяли по органолептическим, физико-химическим, микробиологическим, структурно-механическим показателями качества. Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что гарантированный срок хранения исследуемого продукта – не более 6 месяцев при температуре 0 ... 25°C при относительной влажности воздуха не более 65%. В течение этого времени органолептические показатели опытных образцов не изменялись; активная кислотность образцов в конце хранения не превышала 6,49 нд. рН (при отношении к СОМО=17%); бактерии группы кишечных палочек в 0,01 г продукта не обнаружены; количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов – $3,0 \cdot 10^4$ КОЕ в 1 г продукта, не превышает норму (не более чем $1 \cdot 10^5$ КОЕ в 1 г продукта). Регидратация сухого безлактозного белково-липидного концентрата пахты ухудшалась при длительном хранении при температурах выше 25 °С. При хранении сухого безлактозного белково-липидного концентрата пахты в течение 12 месяцев пенообразующая способность снижается на 10,0%, эмульгирующая способность – на 13,3%, а растворимость – на 2,6%. Через 6 месяцев показатели практически не меняются. Незначительные изменения физико-химических показателей образцов, а именно активной кислотности, кислотности и пероксидного числа сухого безлактозного белково-липидного концентрата пахты не влияют на органолептические показатели продукта, а отсутствие бактерий группы кишечных палочек и патогенных микроорганизмов в течение 6 месяцев хранения при температуре 0–25 °С и относительной влажности воздуха не более 65% является весомым доказательством правильности выбора всех режимов основных технологических процессов и свидетельствуют о сохранении качества продукта в процессе хранения и его полном соответствии всем требованиям нормативно-технической документации.

Ключевые слова: сухой безлактозный белково-липидный концентрат пахты, хранение, режим, показатели качества.

SUBSTANTIATION OF STORAGE MODES OF DRY FREE-LACTOSE PROTEIN-LIPID BUTTERMILK CONCENTRATE

Preserving the nutritional and biological value of dry milk protein concentrates is possible only if they are properly stored. In the process of storage, further physico-chemical changes of the constituents of dry milk protein concentrates are possible, as a result of which the solubility, color, taste and the like change.

The stability of dry milk concentrates during storage is determined, first of all, by the content of moisture, free fat, and storage conditions (tightness of the package, temperature and humidity of the surrounding air, etc.). The shelf life of samples of dry free-lactose protein-lipid concentrate was determined by organoleptic, physico-chemical, microbiological, structural-mechanical quality indices. The results of the conducted studies provide an opportunity to assert that the guaranteed shelf life of the test product - no more than 6 months at a temperature of 0 ... 25 °C at a relative humidity of no more than 65%. During this time, the organoleptic characteristics of the product did not change; the active acidity of the samples at the end of storage did not exceed 6.49 units' pH; bacteria of the group of intestinal sticks in 0.01 g of the product – not detected; the number of mesophilic aerobic and optional anaerobic microorganisms – $3.0 \cdot 10^4$ CFUs per 1 g product, not exceeding the norm (not more than $1 \cdot 10^5$ CFUs per gram of product). The rehydration of the dry free-lactose protein-lipid concentrate of the buttermilk deteriorated with prolonged storage at temperatures above 25°C. When storing dry free-lactose protein-lipid concentrate for 12 months, the foaming capacity is reduced by 10.0%, emulsifying capacity by 13.3%, and solubility by 2.6%. After 6 months, the figures have not changed significantly. Insignificant changes in the physico-chemical parameters of the samples, namely, the active acidity, acid number and peroxide number of the free-lactose protein-lipid concentrate, do not affect the organoleptic parameters of the product, and the absence of bacteria in the group of intestinal sticks and pathogenic microorganisms during 6 months of storage at a temperature of 0...25°C and a relative humidity not more than 65% is a weighty proof of the correct choice of all modes of the main technological processes and indicate the preservation of product quality in the process of storage and its full compliance all the requirements of technical standards.

Key words: *dry free-lactose protein-lipid concentrate, storage, mode, quality indices.*

УДК 664.641

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/22>**Федорова Д.В.**

Київський національний торговельно-економічний університет

ОВОЧЕВО-ЗЕРНОВІ ФЛАКСИ ІЗ СУХИМ РИБОРΟΣЛИННИМ НАПІВФАБРИКАТОМ

У статті визначено актуальність створення нових видів снекових продуктів для оздоровчого харчування з покращеним нутрієнтним складом, високим вмістом білку, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон, нутрієнтів із високою антиоксидантною активністю – каротиноїдів, вітамінів-антиоксидантів, поліфенолів та біофлавоноїдів. Обґрунтовано доцільність комплексного використання макухи моркви, насіння гарбуза, льону та кунжуту, сухого риборослинного напівфабрикату в технології флаксів овочево-зернових, досліджено основні показники якості.

Ключові слова: снекові продукти, флакси овочево-зернові, макуха моркви, насіння гарбуза, льону та кунжуту, сухий риборослинний напівфабрикат.

Постановка проблеми. Актуальність створення нового асортименту снеків визначається потребами суспільства у продуктах для здорового харчування. На даний час формується свідомість споживачів щодо важливості здорового харчування для підтримання здоров'я і довголіття, профілактики неінфекційних захворювань, старіння та стресів. У сучасному суспільстві спостерігається тенденція до збільшення частки населення із альтернативними поглядами на харчування, набирають популярності вегетаріанство і веганство, зростають потреби споживачів у продуктах рослинного походження, які, як відомо, є джерелами біологічно активних речовин та антиоксидантів – важливих протекторів процесів окиснення і старіння організму [1]. Проте, продукти рослинного походження, як правило, є дефіцитними за вмістом повноцінного білка, фізіологічну роль в організмі якого важко переоцінити.

В організмі людини запаси білка практично відсутні, а синтезування нових білків можливе лише з амінокислот, що надходять з їжею, тому є важливим питання потреби в білках, які належать до незамінних речовин, без яких неможливе життя, ріст та розвиток організму. В останні роки спостерігається певний дефіцит білкових продуктів в раціоні харчування людини, що призводить до розвитку аліментарнодефіцитних захворювань. При низькому рівні білка в раціоні пригнічуються функції гіпофізарно-надниркової системи, послаблюються процеси гальмування в центральній нервовій системі, погіршується процес утворення умовних рефлексів, знижується функція щитовидної залози та виникають метаболічні порушення [2].

Саме тому актуальність розширення асортименту і створення нових видів рослинних снеків

з покращеним нутрієнтним складом, високим вмістом білку, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон, а також нутрієнтів із високою антиоксидантною активністю – каротиноїдів, вітамінів-антиоксидантів, поліфенолів та біофлавоноїдів, є актуальним завданням фахівця з харчових технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Удосконалення асортименту снекових продуктів, зокрема борошняних і зернових, присвячено роботи багатьох вітчизняних та закордонних вчених: Федорової Д.В., Кравченка М.Ф., Шаніної О.М., Алексенко В.О., Малафасєва М. Т., Погожих М.І., Плохінського С.О., Новікової С.М., тощо. Ними доведено високі споживні властивості борошняних снеків, високий ступінь їх засвоювання, безпечність, зручність у споживанні та зберіганні. Проте, проблема розширення асортименту зернових снеків для оздоровчого харчування залишається актуальною.

Як відомо, до групи снеків належать сушені продукти з низьким залишковим вмістом вологи – від 5...6 до 14...16%. Традиційно їх поділяють на 2 групи – солоні та солодкі [3]. До солоних відносять горіхово-зернові сушені продукти, борошняні снеки, екструзійні зернові продукти, чіпси, сушені рибні продукти. До солодких належать сухі сніданки, мюслі, кукурудзяні палички, тощо (рис. 1).

В останні роки великою популярністю серед населення нашої країни стали користуватися борошняні хлібці – продукти, отримані шляхом сушіння суміші крупи або зерна. Причина популярності цих продуктів – при відносно невисокій енергетичній цінності виробі характеризуються підвищеною харчовою та біологічною цінністю, завдяки значному вмісту в них повноцінних біл-

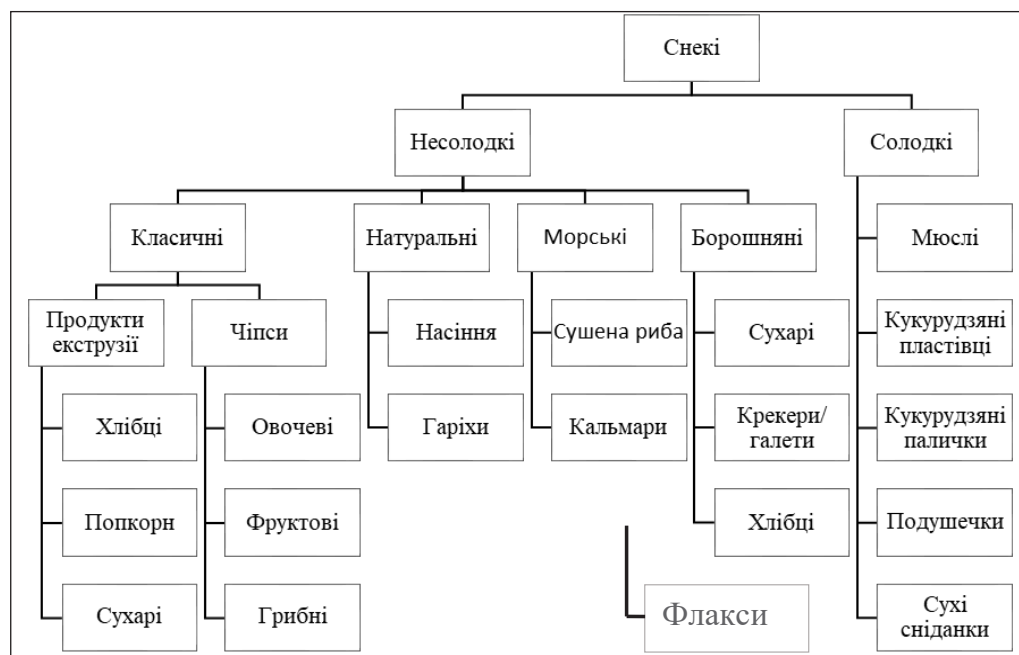


Рис. 1. Класифікація снекових продуктів

ків, вітамінів (ретинолу, тіаміну, рибофлавіну, токоферолу, нікотинової кислоти та ін.), мінеральних речовин та харчових волокон. Як правило, традиційні технології відомих на ринку борошняних снеків – хлібобулочних виробів низької залишкової вологості, передбачають використання продуктів переробки зернової – різних видів борошна, шротів зародків пшениці, насіння, горіхів, сухофруктів, спецій та прянощів. Відомі на ринку снекові продукти, створені на основі зернових культур:

- зернові хлібці «Колос» – прісні хлібці, що містять борошно, яйця, воду і кухонну сіль, причому як борошно використовують борошно із зерна пшениці, пророщеного у розчині морської харчової солі, до якого додається карагінан [4]. До поживного складу прісних хлібців «Колос» входять: харчові волокна, вітаміни груп В₁, В₂, В₃, В₆, Калій, Магній, Ферум, Цинк;

- лляні хлібці з картоплею і часником «Компас здоров'я». Хлібці з часником мають натуральний склад: насіння льону, часник і картопля. Хлібці насичені великою кількістю білка, клітковини, Омега 3, вітаміну Е та В1, Феруму, Марганцю і Магнію [5];

- хлібці зернові «Смак життя». Склад продукту: льон пророщений, шрот льону, соняшник пророщений, часник, куркума, коріандр, сіль морська. Ці хлібці багаті вітамінами групи В, вітамінами С, Е, К, а також містять ненасичені жирні кислоти Омега-3, Омега-6 і Омега-9 [6];

- хлібці з грибами «Sunfill», що містять: насіння льону, насіння соняшникове не смажене, шампінйони, цибулю, кріп, морську сіль. Хлібці «Sunfill» містять Йод, Калій, Ферум, Фосфор, вітаміни А, С, Е [7].

Незважаючи на існуючі розробки, ці продукти обмежені на українському ринку і обмежено доступні вітчизняному споживачу. Отже, вважаємо перспективним створення комбінованих рецептур сушених снеків, які б включали продукти переробки овочевих і зернових культур, зокрема морквяну макуху – вторинний продукт сокового виробництва, та насіння гарбуза, льону, кунжуту, а також містили б додатковий інгредієнт – сухий риборослинний напівфабрикат. Це дасть змогу збагатити вироби повноцінними білками із незамінними амінокислотами, ліпідами з високим вмістом ПНЖК, зокрема ω-3 родини, харчовими волокнами, мінеральними речовинами та вітамінами.

Мета роботи полягає у визначенні напрямів розширення асортименту солоних снекових виробів – овочево-зернових флаксів, науковому обґрунтуванні технології та показників якості розроблених снекових виробів з використанням сухого риборослинного напівфабрикату та збагачувальних рослинних компонентів – овочевих і зернових культур, зокрема морквяної макухи, насіння гарбуза, льону, кунжуту.

Об'єкт дослідження технологія овочево-зернових флаксів з використанням сухого рибо-

рослинного напівфабрикату та рослинних компонентів – морквяної макухи, насіння гарбуза, льону, кунжуту.

Предмети дослідження: сухий риборослинний напівфабрикат, морквяна макуха, насіння гарбуза, льону, кунжуту, модельні композиції та готові флакси овочево-зернові.

Під час проведення досліджень використовували насіння гарбуза, льону, кунжуту виробництва ТОВ «Агросільпром» (Дніпропетровська обл.), виготовленого відповідно до ТУ У 15.8-24239651-007:2007, сухий риборослинний напівфабрикат, виготовлений на основі бланшованої тушки бичка азовського згідно з ТУ У ТУ У 10.2-40220843-003:2016 «Риба, вироби з м'яса риби, риби та ікри формовані, ікра, молоки, шкіра риб, морепродукти в'ялені, в'ялено-підкопчені, сушені, напівфабрикати сухі рибо-рослинні». Макуху морквяну використовували після віджимання соку з моркви столової сорта Шантене (врожаю 2018 р.) за ГОСТ 1721-85 на соковіджимній машині Kenwood JMP 600 SI. Вміст сухих речовин 42..45%.

Матеріали та методи. Органолептичну оцінку готових снекових виробів здійснювали шляхом проведення профільного аналізу розробленого продукту. Дослідження хімічного складу риборослинних напівфабрикатів та снекових виробів з їх вмістом здійснювали за традиційними методиками: масову частку сухих речовин визначали шляхом сушіння до постійної маси відповідно до ДСТУ 4560:2006, жиру – екстракційно-ваговим методом, білка – модифікованим методом К'ельдаля за ГОСТ 7636–85, вміст золи – спалюванням наважки зразка, що досліджувався, з прокалюванням мінерального залишку в муфельній печі за температури 450...500 °C [8]. Масову частку вуглеводів визначали розрахунковим методом за фактичним вмістом у зразках вологи, білків, ліпідів і мінеральних речовин.

Виклад основного матеріалу. Для поповнення нестачі поліненасичених жирних кислот, білка, мінеральних речовин, харчових волокон рекомендується вживати в їжу насіння льону і продукти його переробки. Одним з таких продуктів є *Flax* (англ. Льон, лляний) – виріб зниженої вологості, що виробляються з насіння льону або суміші насіння льону з різними видами сировини. Аналогом для розроблення флаксів обрано крекери лляні «Класичні з вівсяними висівками» торгового бренду «Компас здоров'я», до складу яких входять: насіння льону гідратоване, висівки, спеції та прянощі (орегано, базилік, тим'ян, суміш

французьких або прованських трав), сіль кухонна, олія рослинна [9].

Недоліком даного продукту є недостатньо високі смакові якості (підвищена твердість при розжовуванні), невисокий вміст повноцінних білків з незамінними амінокислотами, незбалансованість вітамінно-мінерального складу, зокрема невисокий вміст Кальцію та Фосфору, Йоду, біофлавоноїдів. Основою для приготування флаксів є насіння льону, яке попередньо замочують у воді з температурою 20-22°C у співвідношенні 1: 1,5 протягом 30...40 хв. та змішують з іншими смако-ароматичними інгредієнтами і витримують протягом 40-50 хв для масообміну і вирівнювання вологи. Отриману масу розкочують шаром 3-6 мм і формують заготовки для флаксів, які викладають на силіконові коврики і висушують методом конвективного сушіння при температурі не вище 50°C протягом 8-10 годин.

Актуальним у виробництві овочево-зернових флаксів є використання овочевих і зернових культур, зокрема морквяної макухи – вторинного продукту сокового виробництва, та насіння гарбуза, льону, кунжуту, а також сухого рибо-рослинного напівфабрикату, що характеризується високим вмістом білків та мінеральних елементів, є джерелом вітамінів В₁, В₂, В₃ і В₅, РР, поліфенольних сполук. Хімічний склад комплексу основних і додаткових інгредієнтів рецептури овочево-зернових флаксів наведено у табл. 1 [8, 10].

Сухий риборослинний напівфабрикат має високий вміст білкових речовин, що дозволяє розглядати його як джерело білків для збагачення ними інших, дефіцитних за повноцінними білками, харчових продуктів. Білки напівфабрикату збалансовані за амінокислотним складом. У риборослинному напівфабрикаті загальна кількість білків становить 63,2 г/100, високий вміст кальцію – 2918,8±27,2 г/100 г [10].

Морквяна макуха містить стільки харчових волокон і клітковини, що 100 г продукту забезпечує майже добову потребу організму. Крім цього, макуха має високий вміст каротиноїдів, вітамінів В₁, В₂, В₅, В₆, В₉, В₁₂, С, D і РР, мінеральні речовини, зокрема Кальцій, Магній і Фосфор (табл. 1).

Насіння льону, гарбуза, кунжуту – цінні джерела нутрієнтів і незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот, зокрема есенціальних жирних кислот омега-3 і омега-6, харчових волокон, вітамінів і мінералів-антиоксидантів – токоферолів, Цинку, Селену, тощо. Крім того, запропонований рецептурний комплекс інгредієнтів, наведений у табл. 1, містить речовини, які виявляють певні синергетичні впливи. Так, наприклад високий

Хімічний склад комплексу основних і додаткових інгредієнтів рецептури
овочево-зернових снєків, на 100 г ($\bar{O} \pm m$)

Найменування показника	Макуха морквяна	Насіння гарбуза	Насіння льону	Насіння кунжуту	Сухий рибо-рослинний напівфабрикат
Волога, %	56,3±6,7	8,2 ± 0,2	7,0 ± 0,9	9,0 ± 2,1	6,8 ± 0,1
Білки, %	5,2±1,8	30,2±3,4	18,2±1,4	19,4±1,5	61,2±1,4
Ліпіди, %	1,4±0,1	49,1±3,1	42,2±0,2	48,7±6,2	3,5±0,06
ПНЖК, %, зокрема	-	±0,2	30,8±0,2	19,6±2,7	1,02±0,02
ω-3 ПНЖК, %	-	-	9,6±0,3	0,8±0,1	0,43±0,01
Вуглеводи, %	15,3±2,2	4,7±1,5	3,8±0,1	12,2±2,6	9,3±0,3
Харчові волокна, г	19,8±2,0	6,5±2,2	25,1±1,1	5,6±1,3	6,6±0,3
Зола, %	1,9±0,5	3,6±0,1	3,7±0,2	5,1±0,2	11,9 ± 0,3
Мінеральні елементи:					
Кальцій, мг	38,6 ± 16,5	46,7±9,6	-	1474±17,2	2918,8±27,2
Калій, мг	322,8 ± 14,5	809,6±9,1	-	497,5±7,6	421,2±9,2
Фосфор, мг	89,0 ± 13,8	196,0±9,2	-	720,0±11,2	1251,0±12,3
Магній, мг	23,3±21,1	592±10,1	-	540,3±7,1	177,5±4,7
Ферум, мг	1,7 ± 0,4	8,8±0,6	5,73±0,78	16,0±0,8	6,7±0,2
Цинк, мг	-	7,8±0,2	4,34±0,23	10,2±0,23	3,7±0,1
Йод, мкг	-	12,5± 0,1	-	7,1 ± 0,01	5,4 ± 6,3
Селен, мкг	-	9,4± 0,3	25,4± 3,2	34,4± 0,01	1,22± 0,02
Вітаміни:					
Вітамін А, РЕ, мкг	1100,0	1,0	-	3,0	-
α-каротин, мкг	-	1,0	-	-	-
β-каротин, мкг	4000,0	9,0	-	40,0	-
лютеїн+зеаксантин, мкг	-	74,0	651,0	-	-
Токофероли, мг	-	35,1	20,0	2,3	0,9
Тіамін (В1), мг	0,04	0,27	1,6	1,27	1,8
Рибофлавін (В2), мг	0,1	0,15	0,16	0,36	1,6
Вітамін РР, НЕ, мг	0,8	4,9	3,1	11,1	1,2
Фолати (В9), мкг	-	58,0	87,0	96,0	3,8
Холін (В4), мг	-	63,0	79,0	25,6	4,7
Вітамін С, мг	7,5	1,9	0,6	-	-

вміст вітаміну Е у насінні льону захищає молекули β-каротину морквяної макухи від окислювальних впливів під час технологічного процесу та процесу зберігання. Крім того, при їх одночасному споживанні, вони виявляють адитивність у більш високому антиоксидантному ефекті, що підтверджено в експерименті на біологічних моделях [2]. Водночас вітамін С, який міститься у морквяній макусі, має певний протекторний ефект щодо захисту від окиснення вітаміну Е, ПНЖК, зокрема ω-3 родини, які містяться у насінні гарбуза, льону та кунжуту, що пояснює доцільність їх сумісного використання в рецептурі флаксів. Крім того, доцільність використання насіння гарбуза, кунжуту є високий вміст лужних мікроелементів – Калій, Магній, Кальцій, важливих в оздоровчому харчуванні, які беруть участь у багатьох метаболічних процесах в організмі і виявляють певні детоксикаційні, антистресові та злужуючі властивості, позитивний вплив

на серцево-судинну і нервову системи. Насіння гарбуза і льону характеризується високим вмістом цинку і селену та каротиноїдів (каротини, лютеїн, зеаксантин, криптоксантин), які характеризуються антиоксидантними властивостями і важливими у детоксикаційному харчуванні. Пропонований продукт забезпечує розширення асортименту снєкової продукції для здорового харчування, зокрема з рибною сировиною, отримання готового продукту підвищеної харчової цінності: з підвищеним вмістом білків, зокрема із вмістом білків тваринного походження, есенціальних амінокислот та омега-3 жирних кислот; мінеральних елементів, зокрема Калію, Магнію, Кальцію, Цинку, Йоду, Селену; вітамінів групи В, вітамінів-антиоксидантів (в-каротину, С, Е), клітковини, а також біологічно активних речовин антиоксидантної, детоксикаційної та імуномодельючої дії (в-глюкану, поліфенольних сполук, біофлавоноїдів).

При розробленні нової рецептурної суміші овочево-зернових флаксів моделювали інгредієнтний склад, виходячи із такого співвідношення інгредієнтів (табл. 2).

Таблиця 2

**Орієнтовна рецептура
овочево-зернових флаксів**

Назва інгредієнта	Вміст в рецептурі, мас. %
насіння льону гідратоване	30,0-45,0
насіння гарбуза	10,0-20,0
насіння кунжуту	5,0-15,0
сухий рибо-рослинний напівфабрикат	5,0-10,0
спеції та прянощі	0,1-5,0
макуха морквяна	10,0-35,0
сіль кухонна	1,0-1,5
Разом	100,0

Отже, основним компонентом рецептури флаксів є насіння льону – 30...45%. Масову частку рослинного компоненту – не більше 35% від маси рецептурної суміші підбирали виходячи з органолептичних показників, консистенції тіста і максимально можливого відсоткового вмісту рослинного компоненту в масі. Масова частка макухи морквяної не перевищує 35% від маси рецептурної суміші. Вміст сухого рибо-рослинного напівфабрикату у складі овочево-зернового снекового продукту нижче 5,0% не дозволяє забезпечити формування бажаного хімічного складу та заданих органолептичних властивостей (легкого аромату та присмаку морської риби), а внесення напівфабрикату більше 10,0% погіршує органолептичні властивості сне-

ків, відчувається надто виражений запах морської риби та специфічний присмак. Як спеції та прянощі використовують такі інгредієнти: кріп, петрушка, куркума, розмарин, базилік, коріандр, майоран, тимін, паприка, перець гострий чорний, білий, червоний (чілі), чабрець, каррі, кумін, насіння гірчиці, пажитник, лавровий лист мелений. З метою визначення раціональної рецептури, концентрації добавки риборослинного напівфабрикату у складі овочево-зернових флаксів, складено модельні композиції флаксів на основі орієнтовної рецептури, наведеної в табл. 2. За результатами органолептичної оцінки готових флаксів, приготованих за запропонованими рецептурами модельних композицій, визначено раціональний інгредієнтний склад та рецептуру виробів (табл. 3).

За результатами органолептичної оцінки встановлено, що найвищі оцінки отримали зразки № 1 та № 2 – відповідно 4,72 та 4,62 бали, що перевищило значення контролю на 8,0 та 5,7% відповідно (табл. 3).

Враховуючи результати досліджень хімічного складу та більш високу нутрієнтну насиченість сухого риборослинного напівфабрикату порівняно із іншими інгредієнтами рецептури, визначено доцільність прийняття як оптимальної рецептури модельного зразка флаксів №2, в якій вміст риборослинного напівфабрикату склав 7%. При збільшенні його вмісту до 10% спостерігалось погіршення органолептичної оцінки готових виробів внаслідок появи вираженого запаху сушеної морської риби, що погіршувало сенсорне сприйняття флаксів при споживанні. Органолептичні характеристики рибо-рослинних снеків наведені у табл. 4.

Таблиця 3

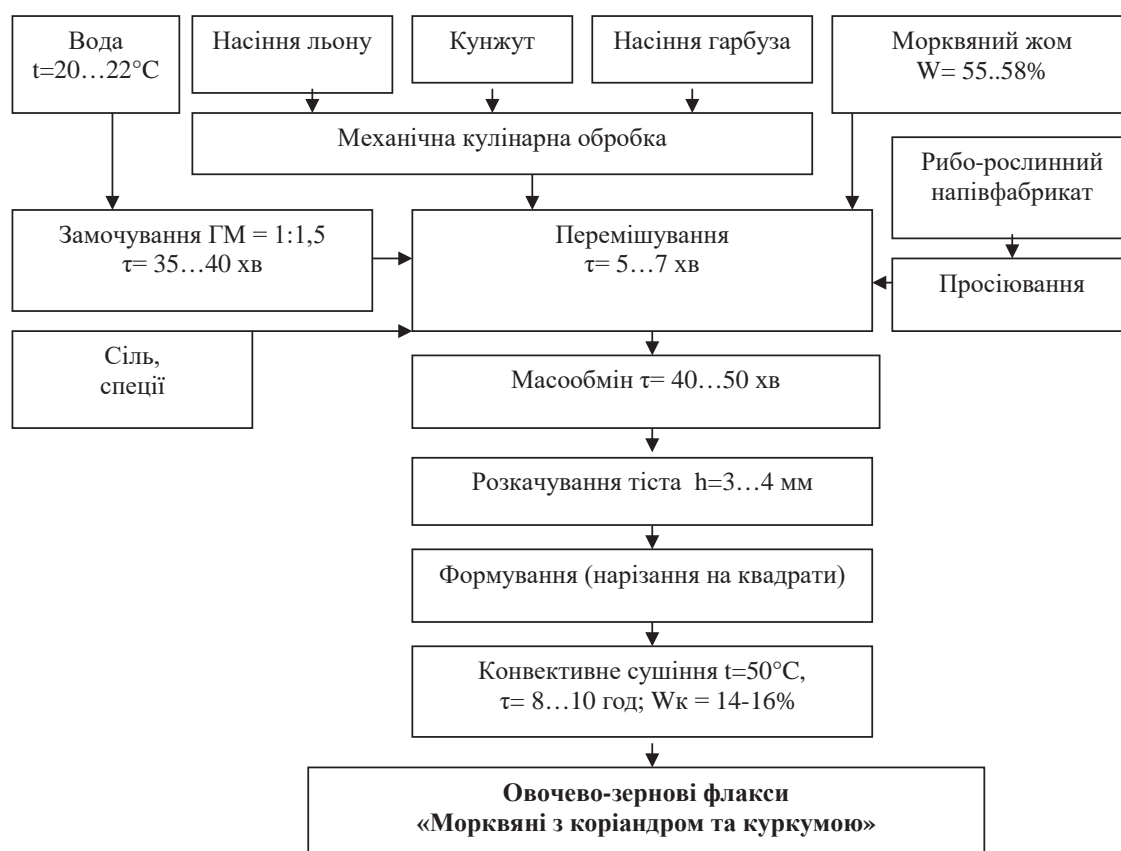
Органолептична оцінка овочево-зернових флаксів, бали

Показники	Коефіцієнт вагомості, од.	Контроль, балів	Дослідні зразки, балів		
			Дослід № 1	Дослід № 2	Дослід № 3
Зовнішній вигляд	0,20	4,5	4,7	4,6	4,0
Колір	0,15	4,2	4,8	4,8	4,0
Смак	0,25	4,6	4,7	4,7	4,4
Запах	0,15	4,6	4,7	4,5	3,8
Консистенція та вигляд на зламі	0,25	4,0	4,7	4,5	4,3
Загальна оцінка	1,0	4,37	4,72	4,62	4,15

*Примітка: дослід №1 – вміст інгредієнтів: насіння льону – 35%, насіння гарбуза – 10%, насіння кунжуту – 7%, макуха морквяна – 35%, сухий рибо-рослинний напівфабрикат – 5%, спеції та прянощі (коріандр, куркума, сіль, перець) – 3%; дослід №2 – вміст інгредієнтів: насіння льону – 40%, насіння гарбуза – 10%, насіння кунжуту – 5%, макуха морквяна – 30%, сухий рибо-рослинний напівфабрикат – 7%, спеції та прянощі (коріандр, куркума, сіль, перець) – 3%; дослід №3 – вміст інгредієнтів: насіння льону – 45%, насіння гарбуза – 15%, насіння кунжуту – 7%, макуха морквяна – 20%, сухий рибо-рослинний напівфабрикат – 10%, спеції та прянощі (коріандр, куркума, сіль, перець) – 3%.

**Органолептичні характеристики овочево-зернових флаксів
«Флакси морквяні з коріандром та куркумою»**

Назва показника	Характеристика
Зовнішній вигляд	Поверхня: снеків від жовтого до світло-коричневого кольору, з вкрапленнями рослинних добавок клітковини, без розривів та пустот Вироби різної форми (круглої, квадратної, прямокутної) однакового розміру
Смак та запах	Приємний солонуватий рибний присмак і пряний аромат, властивий овочево-зерновим снековим виробам із рибними складниками і прянощами, а також властивий смаку та запаху рослинних інгредієнтів, що входять до складу, без сторонніх присмаків і запахів
Колір	Від жовтого до світло-коричневого з вкрапленнями смакових і пряно-ароматичних добавок
Консистенція	Висушений, крихкий виріб, з наявністю вкраплень клітковини та рослинних інгредієнтів, що входять до складу
Вид на зламі	Висушений снековий продукт, товщиною 2-4 мм, з наявністю вкраплень клітковини та рослинних інгредієнтів, що входять до складу



**Рис. 2. Технологічна схема виробництва снекових виробів
«Флаксі морквяні з коріандром та куркумою»**

Виробництво овочево-зернових флаксів «Флаксі морквяні з коріандром та куркумою» здійснюється відповідно до розробленої технологічної карти та технологічної схеми їх виробництва (рис. 2). Асортимент овочево-зернових флаксів «Флаксі морквяні з коріандром та куркумою» широкий і включає як оригінальні види снеків – з мінімальним вмістом рослинного компоненту – до 10%, так і широкий асортимент снеків зі значним

вмістом рослинного компоненту – до 35%. Застосування сумішей різних рослинних та натуральних смакових інгредієнтів дасть змогу створити широкий асортимент снекової продукції оздоровчого призначення.

Впровадження нового асортименту інноваційних снекових виробів «Флаксі морквяні з коріандром та куркумою» може бути здійснене у виробничих умовах підприємств харчової

промисловості (хлібопекарської, кондитерської та харчокоцентратної галузей), кондитерських і борошняних цехів закладів ресторанного господарства.

Сумісне використання насіння льону, гарбуза, кунжуту, морквяної макухи та сухого риборослинного напівфабрикату дозволить розширити асортимент снекової продукції підвищеної біологічної цінності; цілеспрямовано покращити хімічний склад снекових виробів, зокрема збільшити вміст легкозасвоюваних білків у готовому продукті з 15,3 мас.% у контролі до 24,9 мас.% у розроблених снекових продуктах (табл. 5), збалансувати вміст незамінних амінокислот та покращити їх утилізацію.

Таблиця 5

Хімічний склад та енергетична цінність овочево-зернових снеків «Флакси морквяні з коріандром та куркумою», %

Нутрієнт	Контроль	Флакси морквяні з коріандром та куркумою
Вода	13,5	13,9
Білки	15,3	24,9
Жири	27,6	24,4
Вуглеводи	37,1	30,3
Харчові волокна	3,4	3,5
Енергетична цінність, ккал	448,7	432,8

Запропонований склад інгредієнтів флаксів овочево-зернових дає змогу покращити мінеральний склад снекових виробів, зокрема підвищити вміст кальцію, калію, магнію, фосфору та цинку (табл. 6), а також забезпечити вибори харчовими волокнами, вітамінами групи В та С, речовинами з антиоксидантними властивостями – каротиноїдами, біофлавоноїдами. Вміст есенціальних омега-3 жирних кислот на 100 г флаксів становить 0,95 мг%, що дозволяє забезпечити до 55% добової потреби у них.

Вміст кальцію у розроблених флаксах складає у середньому 450 мг на 100 г, що дає змогу забезпечити до 38% добової потреби у ньому, вміст калію – до 19% добової потреби, Фосфору – до 43%, Магнію – до 55%, Цинку – до 43%, Йоду – до 20%, каротиноїдів – до 42%, аскорбінової кислоти – до 15%, тіаміну – до 45%, рибофлавіну – до 10%, піридоксину – до 24%, токоферолу – до 52%, біологічно активних сполук з антиоксидантними властивостями – біофлавоноїдів (вітаміну Р) – до 75% середньої добової потреби у них.

Покращення мінерально-вітамінного складу розроблених снекових виробів пояснюється вмістом у них насіння льону (ПНЖК, зокрема ω-3 жирні кислоти, вітамін Е, каротиноїди, Цинк, Селен), насіння гарбуза, кунжуту (каротиноїди, Фосфор, Магній, Цинк, Селен, вітамін Е); морквяної макухи (каротиноїди, калій, біофлавоноїди), рибо-рослинного напівфабрикату з високим вміс-

Таблиця 6

Мінерально-вітамінний склад овочево-зернових снеків, мг/100 г

Найменування мінерального елемента / вітаміну	Добова потреба	Контроль	Флакси морквяні з коріандром та куркумою
Мінеральні елементи			
Кальцій, мг	1200	67,8	455,7
Калій, мг	2500	223,4	471,5
Фосфор, мг	1000	202,8	425,0
Магній, мг	400	106,5	220,2
Цинк, мг	12	2,0	4,8
Селен, мкг	70	7,8	24,2
Йод, мг	0,15	-	0,03
Вітаміни, мг			
Каротиноїди	15,0	-	6,6
Аскорбінова кислота (вітамін С)	70,0	-	4,5
Тіамін (вітамін В1)	1,8	0,69	0,82
Рибофлавін (вітамін В2)	2,0	0,06	0,19
Піридоксин (вітамін В6)	2,0	0,39	0,47
Токоферол (вітамін Е)	15,0	6,5	7,8
Біофлавоноїди (вітамін Р, в перерахунку на рутин)	30,0	-	22,4

том Кальцію, Фосфору, тіаміну, рибофлавіну. Це сприятиме формуванню оздоровчих і функціональних властивостей розроблених продуктів, зокрема, антиоксидантних, нормалізації вуглеводного та холестеринового обміну в організмі, детоксикації організму від шкідливих впливів ксенобіотиків та ендотоксикантів. Високий вміст органічного Кальцію у снекових продуктах обумовлює доцільність їх використання у раціонах харчування осіб похилого віку та вагітних для підтримання синтезу кісткової та хрящової тканини. Завдяки високого вмісту омега-3 жирних кислот, снекові продукти мають позитивні фізіологічні ефекти щодо профілактики серцево-судинних захворювань.

Висновки. За результати проведених досліджень розроблено раціональний інгредієнтний

склад флаксів овочево-зернових, що сприяє розширенню асортименту снекових продуктів для здорового харчування, зокрема з рибною сировиною, з вмістом білків тваринного походження, есенціальних амінокислот та омега-3 жирних кислот; мінеральних елементів, зокрема Калію, Магнію, Кальцію, Цинку, Йоду, Селену; вітамінів групи В, вітамінів-антиоксидантів (β-каротину, С, Е), а також біологічно активних речовин антиоксидантної дії. Розроблені снекові продукти рекомендовані у харчуванні осіб з порушеннями вуглеводно-ліпідного обміну, осіб похилого віку для підтримання синтезу кісткової та хрящової тканини, при підвищених психоемоційних навантаженнях та стресах, для додаткового збагачення раціону біологічно активними речовинами.

Список літератури:

1. Карпенко П.О. Основи раціонального і лікувального харчування: навч. посіб./ за ред. П.О. Карпенка. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2011. 504 с.
2. Ткаченко Е.И., Успенський Ю.П. Питание, микробиоценоз и интеллект человека. СПб.: СпецЛит, 2006. 590 с.
3. Касьянов Г. И., Семенов Г. В., Грицких В. А., Троянова Т. Л. Сушка сырья и производство сухих завтраков. М.: Март, 2004. 160 с.
4. База патентів України. Патент України №86247 «Зернові хлібці «Колос». URL: <http://uapatents.com/4-86247-grisni-khlibci-kolos.html>.
5. Сайт компанії «Компас Здоров'я». Лляні хлібці. URL: <http://www.smkfarm.ru/catalog/pravilnoe-pitanie/flaksy-krekerykhlebtsy>
6. Інтернет магазин здорової їжі – Смак Життя. Хлібці сиріодні.: URL: <https://sz.lviv.ua>.
7. Сайт компанії «SUNFILL». Хлібці лляні. URL: <https://sunfill.ua/product>.
8. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов/ под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. М.: Брандер-Медицина, 2006. 380 с.
9. Сайт POVARENOK. Крекери лляні «Класичні з вівсяними висівками». URL: <http://www.povarenok.ru/recipes/show/141855>.
10. Федорова Д.В. Фізико-хімічні і біохімічні показники якості сухих рибо-рослинних напівфабрикатів. Технічні науки та технології: науковий журнал. Чернігів: Черніг.нац. технол. ун-т, 2016. № 3 (5). С.217-233.

ОВОЩЕ-ЗЕРНОВЫЕ ФЛАКСЫ С СУХИМ РЫБОРАСТИТЕЛЬНЫМ ПОЛУФАБРИКАТОМ

В статтє определена актуальность создания новых видов снековых продуктов для оздоровительного питания с улучшенным нутриентным составом, высоким содержанием белка, полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон, нутриентов с высокой антиоксидантной активностью – каротиноидов, витаминов-антиоксидантов, полифенолов и биофлавоноидов. Обоснована целесообразность комплексного использования жмыха моркови, семян тыквы, льна и кунжута, сухого рыбораствительного полуфабриката в технологии флаксов овоще-зерновых, исследованы основные показатели качества.

Ключевые слова: снековые продукты, флаксы овоще-зерновые, жмых моркови, семена тыквы, льна и кунжута, сухой рыбораствительный полуфабрикат.

VEGETABLE AND CEREAL FLAKES WITH DRY FISH AND PLANT SEMIFINISHED PRODUCT

The relevance of creating the new types of snack foods for improving nutrition with improved nutrient composition, high protein content, polyunsaturated fatty acids, dietary fiber, and nutrients with high antioxidant activity – carotenoids, antioxidants, polyphenols and bioflavonoid was been determined in the article. The expediency of the complex use of carrot pulp, pumpkin seeds, flaxseed and sesame seeds, as well as dry fish and plant semifinished products in the technology of dried snack products – vegetable and cereals flakes was substantiated, the main indicators of their quality have been determined.

Key words: snack foods, vegetable and cereal flakes, carrot pulp, pumpkin seeds, flax and sesame seeds, dry fish and plant semifinished products.

УДК [663.674.637.044-022.45]:519.23
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/23>

Худенко Н.П.

Одеська національна академія харчових технологій

Трубнікова А.А.

Одеська національна академія харчових технологій

Чабанова О.Б.

Одеська національна академія харчових технологій

Бондар С.М.

Одеська національна академія харчових технологій

Шарахматова Т.Є.

Одеська національна академія харчових технологій

КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ РЕЦЕПТУРНИХ СКЛАДНИКІВ НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО МОРОЗИВА

Сьогодні в Україні і в усьому світі в індустрії харчування актуальні розробки продуктів спеціального призначення. До них належать і молочні безлактозні, і низьколактозні продукти. Якість сумішей для морозива у значній мірі залежить від піноутворювальної здатності, стійкості піни, часу утворення піни, в'язкості тощо. Оцінити результати їх спільної дії можна шляхом застосування статистичних методів аналізу. Велика кількість факторних величин зумовлює необхідність застосовування саме методів множинного кореляційно-регресійного аналізу. Результати експериментів завжди містять деяку похибку, мінімізація якої досягається грамотною статистичною обробкою та подальшим аналізом. При обробці експериментальних даних і побудові математичних моделей часто використовують теорію кореляційно-регресійного аналізу. Робота стосується застосування статистичних методів досліджень для раціоналізації рецептурного складу морозива. Метою дослідження є застосування кореляційно-регресійного аналізу для визначення раціонального співвідношення рецептурних складників низьколактозного морозива. За базові показники було взято результати попередніх фізичних експериментів, коли розробляли безлактозний білковий концентрат маслянки і йогуртну основу із зниженим вмістом лактози та харчові добавки для досягнення кращих функціональних та інших показників морозива. Вхідні дані було зведено до кореляційної матриці, використовуючи MS Office Excel 2013. Матриця дає змогу встановити сили взаємозв'язку між обраними факторними величинами та результативним показником. Наведено масив даних із набором показників щодо вибору раціонального співвідношення безлактозного білкового концентрату маслянки і йогуртної основи для сумішей морозива. Результати множинного кореляційно-регресійного аналізу щодо множинного R, R-квадрата, нормованого R-квадрата, стандартної помилки дали змогу перевірити обрані фізичними експериментами раціональні масові частки основних та додаткових компонентів низьколактозного морозива. Встановлено тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю, стійкістю піни, антиоксидантною активністю і часом піноутворення як головними чинниками при виборі раціонального співвідношення безлактозного білкового концентрату маслянки і йогуртної основи із зниженим вмістом лактози. Графічний матеріал, що представлений у роботі, доводить, що раціональним співвідношенням йогуртної основи і безлактозного білкового концентрату маслянки, що отриманий ультрафільтрацією/діафільтрацією при факторі концентрування $\Phi K=4$ є 40:60, при $\Phi K=5$ – 50:50. Це підтверджують результати фізичного експерименту. Також у роботі підтверджено статистичним шляхом обрані фізичними експериментами раціональні масові частки додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива: інуліну, стабілізатора, імбиру, лимонної кислоти. Встановлено тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю та в'язкістю при підборі раціональної концентрації інуліну та стабілізатору. Для визначення дози харчових добавок використовували метод попарного порівняння зразків із вибором бажаного. Доведено, що кращі результати досягаються при концентраціях імбиру – 0,30%, лимонної кислоти – 0,15%, лактулози – 1,0%. Кореляційно-регресійний аналіз дає змогу досить точно встановити раціональні пропорції складників низьколактозного морозива, що сприяє підтриманню високих функціональних показників та якості продукту.

Ключові слова: кореляційно-регресійний аналіз, статистичний аналіз, раціоналізація рецептури, низьколактозне морозиво.

Постановка проблеми. Нині в Україні і в усьому світі в індустрії харчування актуальні розробки продуктів спеціального призначення [1]. До них належать і молочні безлактозні, і низьколактозні продукти.

Розроблено багато нових рецептур низьколактозного морозива. Молочні білки, жири, цукор, стабілізаційні системи – основні компоненти в рецептурі такого продукту. Навіть незначні зміни якості і співвідношення цих інгредієнтів можуть істотно вплинути на його функціональні властивості [1–7].

Якість сумішей для морозива значною мірою залежить від піноутворювальної здатності, стійкості піни, часу утворення піни, в'язкості тощо.

Оцінити результати їх спільної дії можна застосуванням статистичних методів аналізу. Велика кількість факторних величин зумовлює необхідність застосування саме методів множинного кореляційно-регресійного аналізу. Вони дають змогу виокремлювати найбільш статистично значущі фактори та оцінити взаємозв'язок їх із результативною ознакою. Взаємний зв'язок має вигляд певного числового виразу [8–12].

Мета роботи – застосування кореляційно-регресійного аналізу для визначення раціонального співвідношення рецептурних складників низьколактозного морозива.

Для досягнення мети вирішувались такі задачі:

– за допомогою кореляційно-регресійного аналізу перевірити правильність обраних фізичними експериментами раціональних співвідношень основних інгредієнтів низьколактозного морозива.

– на основі кореляційно-регресійного аналізу підтвердити правильність обраних фізичними експериментами раціональних масових часток додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи статистичного аналізу вже давно знайшли своє застосування у технології, техніці, економіці тощо [8–11].

Автори в роботі [9] проаналізували статистичні дані щодо причин та наслідків виробничого травматизму на підприємствах Державного комітету лісового господарства України. Одержані результати можуть слугувати теоретичною базою для побудови математичної моделі оптимального планування охорони праці на зазначених підприємствах із метою істотного зменшення рівня травматизму.

У роботі [10] описано методи перевірки гіпотез про середні і дисперсії, наявності зв'язку між факторами (кореляційний, дисперсійний аналіз,

аналіз таблиць спряженості), методів класифікації (кластерний і дискримінантний аналіз) і отримання залежностей (регресійний аналіз, аналіз часових рядів).

Робота [11] розглядає використання Excel при виконанні циклу завдань за темами: «Кореляція і регресія», «Множинна регресія», «Непараметричні показники зв'язку», «Аналіз хі-квадрат».

Результати експериментів завжди містять деяку похибку, мінімізація якої досягається грамотною статистичною обробкою та подальшим аналізом. При обробці експериментальних даних і побудові математичних моделей часто використовують теорію кореляційно-регресійного аналізу [8; 11].

Кореляційний аналіз ставить завдання виміряти тісноту зв'язку між змінними й оцінити чинники, які найбільше впливають на результативну ознаку. Регресійний аналіз дозволяє для вибору форми зв'язку і типу моделі для визначення розрахункових значень залежної змінної (результативної ознаки). Методи кореляційного і регресійного аналізу використовуються в комплексі [11].

Для проведення експериментальних досліджень як основної сировини, що отримана в умовах лабораторії ОНАХТ, використовували: рідкий безлактозний білковий концентрат маслянки (ББКМ) та йогуртну основу (ЙО), що складається із суміші маслянки, сухого безлактозного молока та закваски «Йогурт» (VIVO), до складу якої входять культури: *Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* + *Lactobacillus acidophilus* + *Bifidobacterium lactis*).

Додатковими інгредієнтами рецептури суміші морозива обрано: стабілізатор «Ультра текс» ICE1 - 0023 (ПП «Текстра-Віта», Україна), що має такий склад: крохмаль модифікований E 1442, концентрат сироваткових білків, крохмаль модифікований E 1450, моно- та дігліцериди жирних кислот E 471, гуарова камідь E 412, камідь ріжкового дерева E 410, препарат інуліну (ТМ «Frutafit IQ», виробництва «Sensus», Roosendal, Нідерланди), препарат лактулози («Fresenius Kabi Company», Італія), лимонна кислота (ТМ «Мрія», Україна), порошок імбиру (ТМ «Еко», Україна).

Технологія отримання функціональної основи – рідкого безлактозного білкового концентрату маслянки та його властивості наведено у попередніх публікаціях [13–17].

Технологія отриманої йогуртної основи із знизеним вмістом лактози наведена у роботі [16].

Таблиця 1 містить основні результати пошуку раціональних рецептур низьколактозного морозива.

Таблиця 1

Рецептури на морозиво низьколактозне

Сировина	Маса сировини, кг	
	Зразок 1	Зразок 2
Безлактозний білковий концентрат із маслянки (ББКМ), отриманий діалільтрацією (DV=7) УФ ретентату при ФК=4 (Ж=1,6 %; СЗМЗ=13,5%)	488,1	-
Безлактозний білковий концентрат з маслянки (ББКМ), отриманий діалільтрацією (DV=7) УФ ретентату при ФК=5 (Ж= 2,0 %; СЗМЗ = 16,94 %)	-	411,5
Інулін (СР=95,8%)	40	40
Лактулоза (СР=99,2%)	10	10
Цукор	130,0	120,0
Стабілізатор	2,0	2,5
Імбир	3	3
Йогуртна основа (ЙО) (Ж=0,54%; СЗМЗ =12,34%)	325,4	411,5
Лимонна кислота	1,5	1,5
Загалом	1000	1000

Таблиця 2

Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

Співвідношення ББКМ/ЙО	Піноутворювальна здатність, %	Стійкість піни, хв.	Час утворення піни, сек	Антиоксидатна активність, у.о.	Органолептична оцінка, бали
80:20	22	80	45	355	3,5
70:30	26	95	40	325	4,0
60:40	28	120	30	315	4,5
50:50	24	110	35	305	4,5
40:60	21	85	40	290	5,0
30:70	16	70	43	275	5,0
20:80	12	45	45	260	4,5

Виклад основного матеріалу дослідження.

Основне завдання кореляційного аналізу – визначення тісноти і напряму зв'язку між досліджуваними величинами.

Масив даних із набором показників щодо вибору раціонального співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4 та ФК=5 наведено у табл. 2 і 4 відповідно.

Співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4 та ФК=5 істотно впливає на піноутворювальну здатність, %, стійкість піни, хв., час утворення піни, сек., антиоксидатну активність, у.о. Зв'язок між цими величинами виявляє кореляційно-регресійний аналіз.

Для більш наочного подання вхідні дані було зведено до кореляційної матриці, використовуючи MS Office Excel 2013, яка використовується для вимірювання сили взаємозв'язку між обраними факторними величинами та результативним показником.

Компоненти кореляційної матриці для підбору співвідношення ББКМ/ЙО наведено у табл. 3 і 6 при ФК=4 та при ФК=5 відповідно.

Розрахунок кореляційної матриці (табл. 2) дає змогу зробити висновок про значну залежність результативного показника та факторних величин.

В результаті побудови кореляційної матриці визначено, що тісний зв'язок між собою мають: піноутворювальна здатність, стійкість піни, антиоксидатна активність і час утворення піни. Залежності досить тісні, бо коефіцієнти кореляції за модулем близько до 1, що, згідно зі шкалою Чеддока, характеризує сильні і дуже сильні зв'язки між цими факторними величинами [8; 11; 12].

У процесі виявлення кореляційно-регресійних зв'язків між результативним показником та факторними величинами було розраховано коефіцієнт множинної регресії, коефіцієнт детермінації, стандартну помилку, що наведено у табл. 4.

Множинний R – коефіцієнт множинної кореляції вказує на наявність (або відсутність) лінійного зв'язку між залежними і незалежною перемінними (за наявності зв'язку прагне до 1). Перевірка значимості коефіцієнта кореляції еквівалентна пере-

Компоненти кореляційної матриці для підбору співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

	Піноутворювальна здатність, %	Стійкість піни, хв	Час утворення піни, хв.	Антиоксидатна активність, у.о.	Органолептична оцінка, бали
Піноутворювальна здатність	1,00				
Стійкість піни	0,96	1,00			
Час утворення піни	-0,85	-0,94	1,00		
Антиоксидатна активність	0,97	0,87	-0,72	1,00	
Органолептична оцінка	-0,44	-0,27	0,20	-0,59	1,00

вірці наявності лінійного зв'язку. R-квадрат – коефіцієнт детермінації, що показує долю дисперсії, що пояснюється цією моделлю в загальній дисперсії. Він показує, наскільки модель адекватна. Нормований R-квадрат представляє собою скоригований коефіцієнт детермінації. Стандартна помилка характеризує розкид середніх значень, дорівнює стандартному відхиленню, діленому на квадратний корінь з обсягу вибірки [8; 11; 12].

Таблиця 4

Результати регресійної статистики

Параметр	Значення
Множинний R	0,94
R-квадрат	0,88
Нормований R-квадрат	0,63
Стандартна помилка	0,33
Спостереження	7

Результати регресійної статистики (табл. 4), зокрема, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,94$, що вказує на високу тісноту зв'язку між вхідними змінними та вихідною змінною та коефіцієнт

детермінації $R^2 > 0,7$, вказує на те, що варіація результативної ознаки зумовлена в основному впливом включених у регресійну модель факторів.

Залежності, представлені на рис. 1, свідчать, що раціональне співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4 є 60:40.

Кореляційна залежність існує між піноутворювальною здатністю, стійкістю піни, антиоксидатною активністю і часом. Залежність досить тісна, бо коефіцієнт кореляції за модулем близько до 1.

У табл. 6 наведені результати регресійної статистики.

Результати регресійної статистики (табл. 63), зокрема, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,99$, що вказує на високу тісноту зв'язку між вхідними змінними та вихідною змінною, та коефіцієнт детермінації $R^2 > 0,7$ вказує на те, що варіація результативної ознаки зумовлена в основному впливом включених у регресійну модель факторів.

Графічний матеріал, що представлено на рис. 2, доводить, що раціональним співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=5 є 50:50. Це підтверджують результати фізичного експерименту [13].

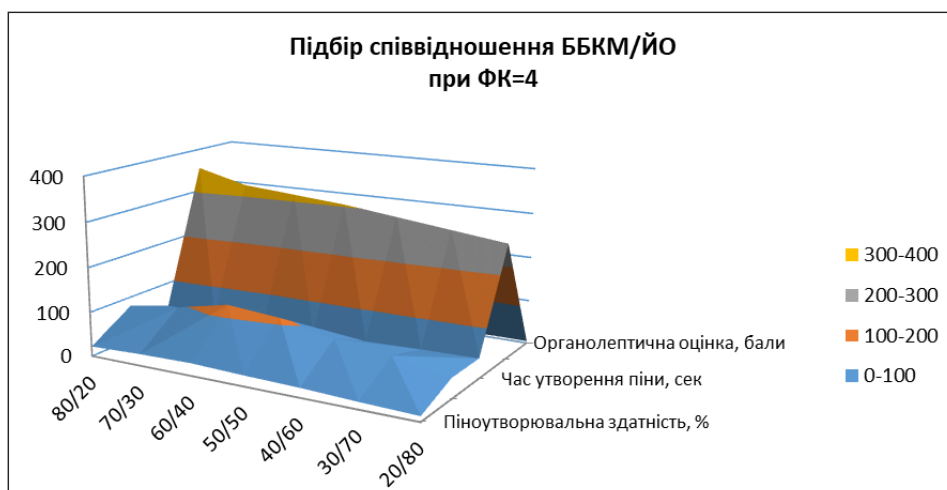


Рис. 1. Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

Таблиця 5

Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=5

Співвідношення ББКМ/ЙО	Піноутворювальна здатність, %	Стійкість піни, хв.	Час утворення піни, сек	Антиоксидатна активність, у.о.	Органолептична оцінка, бали
80/20	24	85	50	405	3,5
70/30	28	98	45	380	4,0
60/40	30	125	40	362	4,5
50/50	32	130	25	330	5,0
40/60	26	100	35	298	4,0
30/70	20	85	42	285	3,5
20/80	15	50	44	272	3,0

Таблиця 6

Компоненти кореляційної матриці для підбору співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=4

	Піноутворювальна здатність	Стійкість піни	Час утворення піни	Антиоксидатна активність	Органолептична оцінка, бали
Піноутворювальна здатність	1,00				
Стійкість піни	0,96	1,00			
Час утворення піни	-0,59	-0,65	1,00		
Антиоксидатна активність	0,78	0,66	0,01	1,00	
Органолептична оцінка	-0,68	-0,52	-0,13	-0,96	1,00

Таблиця 7

Результати регресійної статистики

Параметр	Значення
Множинний R	0,99
R-квадрат	0,98
Нормірований R-квадрат	0,94
Стандартна помилка	0,19
Спостереження	7,00

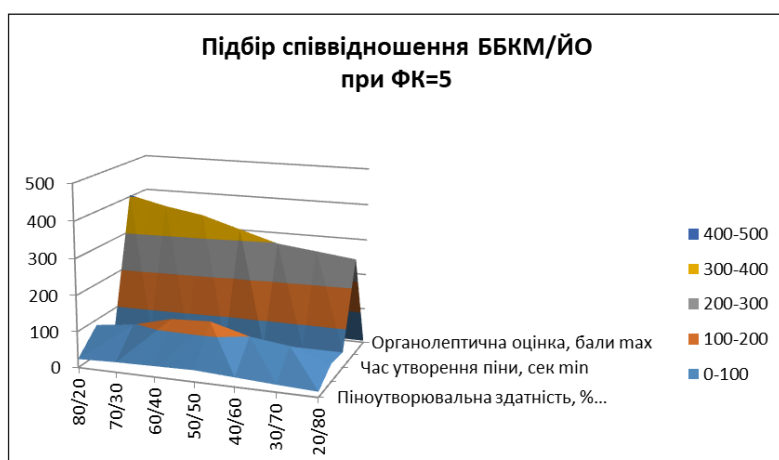


Рис. 2. Підбір співвідношення ББКМ/ЙО при ФК=5

Подальший аналіз стосувався підтвердження статистичним шляхом обраних фізичними експериментами раціональних масових часток додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива: інуліну, стабілізатора, імбиру, лимонної кислоти.

Головними показниками при визначенні раціональних масових часток інуліну та стабілізатора обрали піноутворювальну здатність та в'язкість. Піну отримували шляхом збивання зразків при температурі 20 °C протягом 30 с. Отримані дані аналізу наведено у табл. 8, 11.

Встановлено досить тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю та в'язкістю, про що свідчить коефіцієнт кореляції за модулем близький до 1. Дані, що відображені на рис 3, вказують на раціональну концентрацію інуліну, що становить 4%.

Далі наведено основні залежності аналізу щодо ФК=5. Загальна картина для цього випадку була аналогічна попередній.

Раціональна концентрація інуліну 4 % (рис. 4).

Підбір концентрації стабілізатора здійснювали за показниками ПУЗ та в'язкості сумішей.

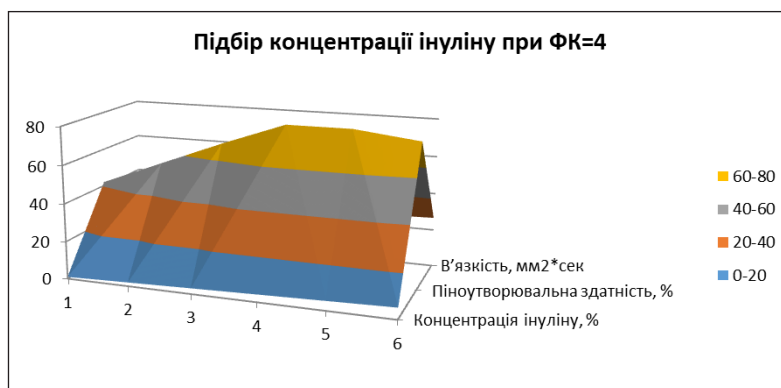


Рис. 3. Підбір концентрації інуліну при ФК=4

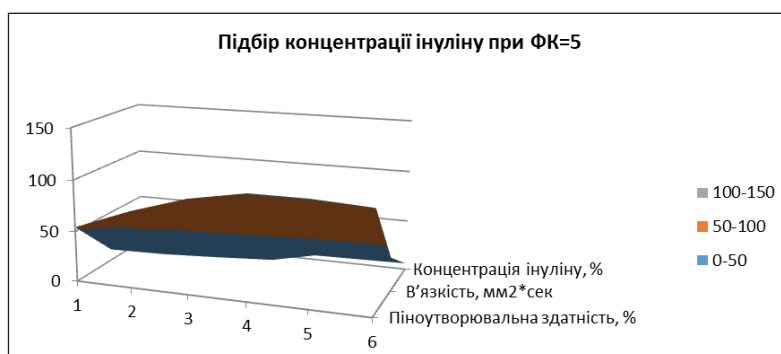


Рис. 4. Підбір концентрації інуліну при ФК=5

Таблиця 10

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації інуліну при ФК=5

	Концентрація інуліну	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація інуліну	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,69	1,00	
В'язкість	0,81	0,96	1,00

Таблиця 8

Підбір концентрації інуліну

Концентрація інуліну, %	при ФК=4		при ФК=5	
	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с
1,0	42	8,134	54	11,104
2,0	55	9,620	75	12,231
3,0	68	11,054	92	15,167
4,0	80	14,126	102	18,678
5,0	80	25,674	102	31,107
6,0	76	26,674	99	33,456

Таблиця 9

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації інуліну при ФК=4

	Концентрація інуліну	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація інуліну	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,81	1,00	
В'язкість	0,94	0,68	1,00

Таблиця 11

Підбір концентрації стабілізатора

Концентрація стабілізатору, %	при ФК=4		при ФК=5	
	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с	Піноутворювальна здатність, %	В'язкість, мм ² *с
0,1	85	15,756	110	20,015
0,15	100	17,127	125	22,156
0,2	140	19,816	149	24,178
0,25	285	36,104	190	29,164
0,3	285	46,104	320	56,124

Таблиця 12

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації стабілізатора при ФК=4

	Концентрація стабілізатору	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація стабілізатору	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,93	1,00	
В'язкість	0,97	0,95	1,00

Таблиця 13

Компоненти кореляційної матриці для підбору концентрації стабілізатора при ФК=5

	Концентрація стабілізатору	Піноутворювальна здатність	В'язкість
Концентрація стабілізатору	1,00		
Піноутворювальна здатність	0,93	1,00	
В'язкість	0,97	0,95	1,00

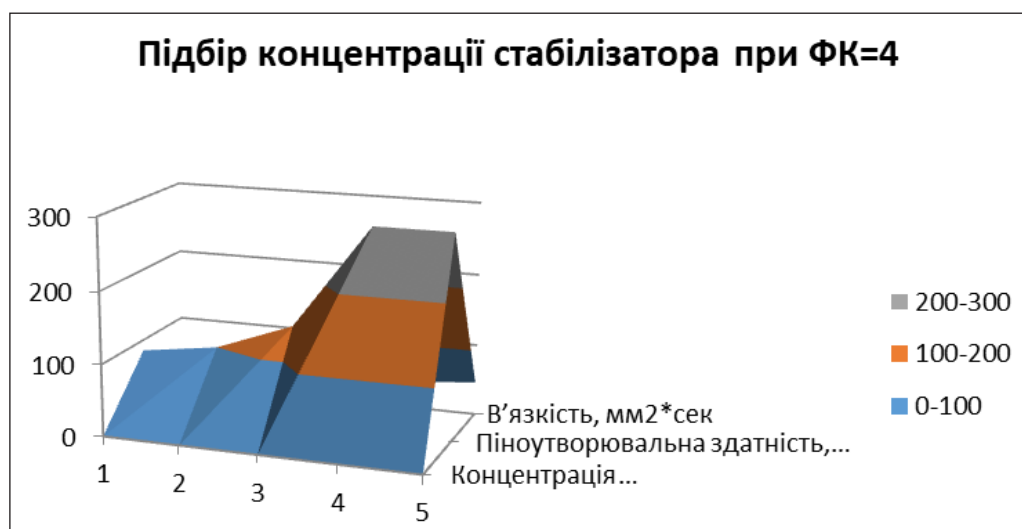


Рис. 5. Підбір концентрації стабілізатора при ФК=4

Як бачимо, кореляційна залежність тут теж досить тісна. Те саме можна сказати і про залежності у разі ФК=5 (табл. 13 та рис. 6).

Для визначення дози харчових добавок використовували метод попарного порівняння зразків із вибором бажаного [48]. Результати досліджень наведено у табл. 14 стосовно імбиру, табл. 15 стосовно лимонної кислоти та табл. 16 стосовно лактулози.

Таблиця 14

Підбір концентрації імбиру (для ФК=4 і ФК=5)

Концентрація імбиру, %	Метод попарного порівняння зразків, бали
0,15	0,40
0,30	0,50
0,45	0,23

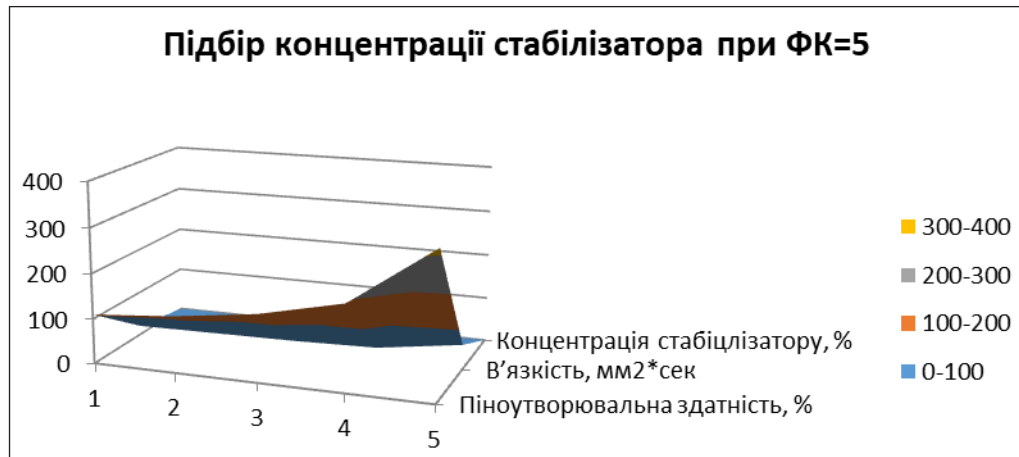


Рис. 6. Підбір концентрації стабілізатору при ФК=5

Таблиця 15
Підбір концентрації лимонної кислоти
(для ФК=4 і ФК=5)

Концентрація лимонної кислоти, %	Метод попарного порівняння зразків, бали
0,10	0,50
0,15	0,53
0,20	0,23

Таблиця 16
Підбір концентрації лактулози
(для ФК=4 і ФК=5)

Концентрація лактулози, %	Органолептична оцінка, бали
0,6	3,5
0,8	4,0
1,0	5,0

Дані доводять, що кращі результати досягаються при концентраціях імбиру – 0,30%, лимонної кислоти – 0,15 %, лактулози – 1,0%.

Висновки. В результаті проведення кореляційно-регресійного аналізу при використанні MS

Office Excel 2013 для визначення раціонального співвідношення ББКМ/ЙО для ФК=4 та ФК=5 встановлено тісний зв'язок між вхідними змінними та вихідною змінною (коефіцієнти множинної кореляції в цьому разі $R=0,94$ та $0,99$ відповідно, а коефіцієнти детермінації становлять $R^2>0,7$). Доведено, що раціональним співвідношенням йогуртної основи ЙО і безлактозного білкового концентрата маслянки (ББКМ), що отриманий ультрафільтрацією/діафільтрацією при факторі концентрування ФК=4 є 40:60, при ФК=5 – 50:50, це підтверджують результати фізичного експерименту.

Підтверджено статистичним шляхом обрані фізичними експериментами раціональні масові частки додаткових інгредієнтів низьколактозного морозива: інуліну, стабілізатора, імбиру, лимонної кислоти. Встановлено тісну кореляційну залежність між піноутворювальною здатністю та в'язкістю при підборі раціональної концентрації інуліну та стабілізатору.

Кореляційно-регресійний аналіз дає змогу досить точно встановити раціональні пропорції складників низьколактозного морозива, що сприяє підтриманню високих функціональних показників та якості продукту.

Список літератури:

1. Оленев Ю.А. Структурные элементы смесей и мороженого. *Молочная промышленность*. 2003. № 3. С. 53–54.
2. Пищевая химия / [Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А и др.]; под ред. д.т.н., проф. А.П. Нечаева. 3-е изд. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2004. 640 с.
3. Колмыков М.А., Борко Н.А., Альхамова Г.К., Нургазезова А.Н., Канарейкина С.Г. Компьютерная оптимизация рецептуры молочного мороженого. *Молодой ученый*. 2016. № 1. С. 165–169. URL: <https://moluch.ru/archive/105/25012/> (дата обращения: 17.11.2018).
4. Абугов М.Б., Поляков Р.И., Стегаличев Ю.Г. Использование методики экспертиз для оценки влияния на вкусовые показатели мороженого факторов технологического процесса. *Известия СПбГУНиПТ*. 2000. № 1.
5. Лисин П.А. Компьютерные технологии в рецептурных расчетах молочных продуктов. Москва : ДеЛи принт, 2007. 102 с.

6. Эрл М., Эрл Р. Примеры разработки пищевых продуктов. Анализ кейсов. Москва : Профессия, 2010. 400 с.
7. Трухачев В.И., Молочников В.В., Орлова Т.А. Концентраты белков молока: выделение и применение. Ставрополь : Изд-во «Агрус», 2009. 152 с.
8. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 2. / Редкол.: С.В. Мочерний (відп. ред.) та ін. Київ : Видавничий центр «Академія», 2000. 864 с.
9. Гогіташвілі Г.Г., Степанишин В.М., Тисовський Л.О. Аналіз статистичних даних щодо причин та наслідків виробничого травматизму працівників. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. 2011. № 707. С. 42–45.
10. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. МОРИОН, 2001. 408 с.
11. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel : учебн. пособие. Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. 102 с.
12. Константинова А.О. Применение корреляционно-регрессионного анализа для прогнозирования экономического развития предприятия (на примере ОАО «новороссийский комбинат хлебопродуктов»). *Молодежный научный форум: Общественные и экономические науки*: электр. сб. ст. по мат. VII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 7(7). URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/7\(7\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/7(7).pdf) (дата обращения: 28.01.2019)
13. Grounding and Development of Low-Lactose Biologically Active Milk Ice Cream Formula / A. Trubnikova, O. Chabanova, T. Sharahmatova, S. Bondar, S. Vikul. *Path of Science: International Electronic Scientific. Traektoriâ Nauki= Path of Science*. 2018. Vol. 4, No 9. P. 3001–3021. DOI: 10.22178/pos.38-7 <http://pathofscience.org/index.php/ps/article/view/544>.
14. Bondar S., Trubnikova A., Chabanova O. Дослідження мембранного процесу видалення лактози з концентрату маслянки. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2018. Т. 20. №. 85. С. 62–69.
15. Bondar S. et al. Analysis of a new diafiltration method of cleaning buttermilk from lactose with mineral composition preserved / S. Bondar, O. Chabanova, T. Sharakhmatova, A. Trubnikova. *Харчова наука та технологія*. 2018. Т. 12. № 1. С. 90–98.
16. Трубнікова А.А. Біотехнологічні аспекти отримання йогуртної основи для виробництва низьколактозного морозива / А.А. Трубнікова, Т.Є. Шарахматова, К.О. Мамінтова, О.С. Цупра. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 9 (1285). С. 243–255.
17. Трубнікова А.А. Розробка технології низьколактозного морозива на основі безлактозного концентрату маслянки / Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є., Бондар С.М., Савчак Є.М. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 45 (1321). С. 214–227.

КОРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕЦЕПТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НИЗКОЛАКТОЗНОГО МОРОЖЕНОГО

Сегодня в Украине и во всем мире в индустрии питания актуальны разработки продуктов специального назначения. К ним относятся и молочные безлактозные, и низколактозные продукты. Качество смесей для мороженого в значительной степени зависит от пенообразующей способности, устойчивости пены, времени образования пены, вязкости и тому подобного. Оценить результаты их совместного действия возможно путем применения статистических методов анализа. Большое количество факторных величин обуславливает необходимость применения именно методов множественного корреляционно-регрессионного анализа. Результаты экспериментов всегда содержат некоторую погрешность, минимизация которой достигается грамотной статистической обработкой и последующим анализом. При обработке экспериментальных данных и построении математических моделей часто используют теорию корреляционно-регрессионного анализа. Работа касается применения статистических методов исследований для рационализации рецептурного состава мороженого. Целью исследования является применение корреляционно-регрессионного анализа для определения рационального соотношения рецептурных составляющих низколактозного мороженого. Базовыми показателями были взяты результаты предыдущих физических экспериментов, когда разрабатывали безлактозный белковый концентрат пахты и йогуртную основу с пониженным содержанием лактозы, и пищевые добавки для достижения лучших функциональных и других показателей мороженого. Входные данные сведены к корреляционной матрице, используя MS Office Excel 2013. Матрица позволяет установить силы взаимосвязи между выбранными факторными величинами и результативным показателем. Приведен массив данных с набором показателей по выбору рационального соотношения безлактозного белкового концентрата пахты и йогуртной основы для смесей мороженого. Результаты множествен-

ного корреляционно-регрессионного анализа, касаемо множественного R , R -квадрата, нормированного R -квадрата, стандартной ошибки позволили проверить выбранные физическими экспериментами рациональные массовые доли основных и дополнительных компонентов низколактозного мороженого. Установлена тесная корреляционная зависимость между пенообразующей способностью, устойчивостью пены, антиоксидантной активностью и временем пенообразования как главными факторами при выборе рационального соотношения безлактозного белкового концентрата пахты и йогуртной основы с пониженным содержанием лактозы. Графический материал, представленный в работе, доказывает, что рациональным соотношением йогуртной основы и безлактозного белкового концентрата пахты, что получен ультрафильтрацией / диафильтрацией при факторе концентрирования $ФК = 4$ является 40:60, при $ФК = 5$ – 50:50. Это подтверждают результаты физического эксперимента. Также в работе подтверждены статистическим путем выбранные физическими экспериментами рациональные массовые доли дополнительных ингредиентов низколактозного мороженого: инулина, стабилизатора, имбиря, лимонной кислоты. Установлена тесная корреляционная зависимость между пенообразующей способностью и вязкостью при подборе рациональной концентрации инулина и стабилизатора. Для определения дозы пищевых добавок использовали метод парного сравнения образцов с выбором желаемого. Доказано, что лучшие результаты достигаются при концентрациях имбиря – 0,30%, лимонной кислоты – 0,15%, лактулозы – 1,0%. Корреляционно-регрессионный анализ позволяет достаточно точно установить рациональные пропорции составляющих низколактозного мороженого, способствует поддержанию высоких функциональных показателей и качества продукта.

Ключевые слова: корреляционно-регрессионный анализ, статистический анализ, рационализация рецептуры, низколактозное мороженое.

CORRELATION AND REGRESSIONAL ANALYSIS OF RECEPTORAL COMPLEXES OF LOW-LACTOSE ICE CREAM

Today in Ukraine and in the world in the food industry are the actual development of special purpose products. These include free-lactose milk products. The quality of the mixtures for ice cream depends to a large extent on the foaming ability, foam stability, foam formation time, viscosity, etc. Evaluate the results of their joint action possible using statistical methods of analysis. A large number of factor variables necessitates the use of methods of multiple correlation-regression analysis. The results of experiments always contain some error; the minimization of which is achieved by competent statistical processing and further analysis. When processing experimental data and constructing mathematical models, the theory of correlation-regression analysis is often used. The work concerns the application of statistical research methods to rationalize the formulation composition of ice cream. The aim of the study is to apply a correlation-regression analysis to determine the rational ratio of recipe components of low-lactose ice cream. The results of previous physical experiments, when developing the free-lactose protein concentrate of the buttermilk and yogurt base with reduced lactose content and dietary supplements, the indicators were taken as the basis for achieving the best functional and other indicators of ice cream. The incoming data was reduced to the correlation matrix using MS Office Excel 2013. The matrix allows you to establish the relationship strength between the selected factor values and the resultant indicator. An array of data is provided with a set of indicators for choosing the rational ratio of the free-lactose protein concentrate of the buttermilk and the yoghurt base for ice cream mixtures. The results of multiple correlation-regression analysis of multiple R , R -square, normalized R -square, standard error allowed us to check the rational mass fractions of the basic and additional components of low-lactose ice-cream selected by physical experiments. There is a close correlation between the foaming ability, foam resistance, antioxidant activity and the time of foam formation as the main factors in choosing the rational ratio of the free-lactose protein concentrate and the yoghurt base with a reduced content of lactose. The graphic material presented in the work proves that the rational ratio of the yogurt base and the free-lactose protein concentrate of the buttermilk obtained by ultrafiltration / diafiltration at a concentration factor of $FC = 4$ is 40:60, with $FC = 5$ – 50:50. This is confirmed by the results of the physical experiment. In the work, the rational mass fractions of the additional ingredients of low-lactose ice-cream: inulin, stabilizer, ginger, and citric acid were confirmed statistically by the physical experiments. A close correlation between the foam forming ability and the viscosity in determining the rational concentration of inulin and stabilizer is established. To determine the dose of nutritional supplements, we used the method of pairwise comparison of samples with the choice of the desired. It is proved that the best results are achieved at concentrations of ginger – 0,30%, citric acid – 0,15%, lactulose – 1,0%. Correlation and regression analysis allows to accurately establish rational proportions of components of low-lactose ice cream, which helps to maintain high functional characteristics and product quality.

Key words: correlation-regression analysis, statistical analysis, Rationalization of the formulation, low-lactose ice cream.

ТРАНСПОРТ

УДК 519.873: 621.389

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/24>**Богом'я В.І.**

Державний університет інфраструктури та технологій

Дакі О.А.

Державний університет інфраструктури та технологій

Тимощук О.М.

Державний університет інфраструктури та технологій

АНАЛІЗ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

У статті розглянуто наявність у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя, а саме забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань для оцінювання їх характеристик, з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього. Реалізація традиційного підходу до вимірювання характеристик амплітудно-частотного спектра динамічних об'єктів потребує значної трудомісткості вимірювань. Уникнути цього недоліку можна за рахунок використання вимірювальних сигналів. Постановка задачі отримання оптимальних параметрів вимірювальних сигналів передбачає аналіз вимірювальних сигналів та визначення конкретних критеріїв синтезу. За результатами аналізу вимірювальних сигналів та відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту пропонується розроблення оптимального методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендацій щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Ключові слова: експлуатація, радіонавігаційні комплекси, управління рухом, засоби водного транспорту, методи, вимірювальні сигнали, автоматизація контролю.

Постановка проблеми. Перспективним напрямом розвитку методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту є їх автоматизація та універсализація [1; 2].

При цьому виникає відоме у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань для оцінювання їх характеристик, з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У рамках зазначеного протиріччя актуальними є дослідження, які пов'язані з аналізом вимірювальних параметрів та подальшим розробленням оптимального методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром [3].

Аналіз останніх досліджень. Провідними закордонними фахівцями в цій галузі, зокрема Ван Схонвелд, Ван Оудер, А. Томпсон, І. Коллар, Т. Уїлсон, а також відомими вітчизняними вченими, такими як М.Я. Мінц, Д.В. Корольков, Ю.М. Парійський, Ю.Ф. Павленко, В.К. Волосюк, В.М. Чинков, П.А. Шпаньон, В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко, Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цимбал та ін., розроблено низку робіт, які доказують можливість використання складних вимірювальних сигналів, окрім періодичних

синусоїдних і прямокутних, для контролю технічного стану технічних систем [3–8].

Проте лише оглядово розглянуто методи синтезу вимірювальних сигналів складної форми для контролю технічного стану радіотехнічних систем. Це пов'язано з відсутністю тоді технічної можливості створити відповідні моделі для перевірки синтезованих сигналів складної форми.

Формулювання цілей статті. У статті запропоновано дослідження предметної сфери, яке включає проведення аналізу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіотехнічних систем.

Основні матеріали дослідження. Об'єктивною тенденцією розвитку радіотехнічних систем навігації та управління рухом морських суден на сучасному етапі є постійне зростання їх складності з урахуванням умов експлуатації – агресивного середовища: підвищена вологість і сіль, різні кліматичні зони експлуатації. Нині є загально визнаним, що одним з основних напрямів удосконалення системи експлуатації складних технічних об'єктів (у тому числі РТС) є розвиток системи їх обслуговування, що полягає в проведенні операцій з вимірювання та контролю параметрів об'єктів з метою визначення ступеня їх придатності до подальшого використання за призначенням.

Підвищити оперативність обслуговування та, відповідно, збільшити коефіцієнт оперативної готовності систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден загалом можливо за рахунок зменшення часу проведення заходів обслуговування [4].

Вимоги до оперативності та якості проведення операцій з контролю технічного стану підвищуються у зв'язку з переведенням систем і об'єктів на експлуатацію за технічним станом [4; 5].

Традиційними вимірювальними сигналами для контролю технічного стану РТС є синусоїдні коливання [3]. Проте такий підхід потребує значної працездатності контролю та призводить до зниження оперативності його проведення через необхідність введення інерційних блоків для підвищення перешкодозахищеності.

Уникнути цього недоліку можна за рахунок використання багаточастотних сигналів з нормованим спектром – полігармонійних сигналів [6]. Вони являють собою суму певної кількості корисних гармонік, модульовані сигнали з нормованим спектром і різні форми бінарних сигналів.

Тому актуальною науковою проблемою є розробка методів синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них для

підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану РТС. Теоретичні основи синтезу вхідних полігармонійних вимірювальних сигналів і обробки відгуку на такі сигнали дають змогу удосконалити процес автоматизованого контролю технічного стану РТС [7; 8].

Розглянемо вхідні вимірювальні сигнали та сигнали-відгуки (вихідні сигнали) РТС загалом, які можна вважати лінійними динамічними ланками, і відповідні їм динамічні характеристики [6; 9].

Вимірювальним радіотехнічним сигналом є електрична напруга або струм, що змінюється в часі, із заздалегідь відомими характеристиками, які використовуються для визначення параметрів окремих радіотехнічних пристроїв (ланцюгів) або їх контролю [7].

Тестові синусоїдні сигнали використовують для визначення частотних характеристик радіотехнічних систем [8; 9].

Відгуком (реакцією) системи на такий сигнал $x(t)$ з постійною амплітудою X_{\max} є також синусоїдний сигнал $y(t)$, частота якого залишається тією самою. Але в загальному випадку ці сигнали можуть відрізнятися за амплітудою та фазою, тобто між сигналами є фазовий зсув ϕ (рис. 1).

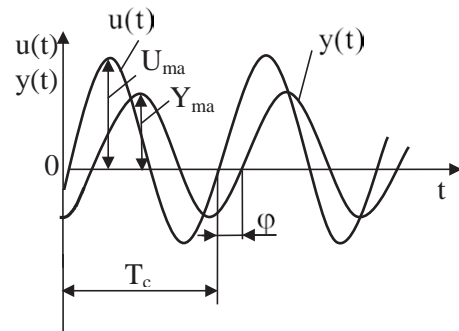


Рис. 1. Тестовий вхідний $x(t)$ і вихідний $y(t)$ синусоїдні сигнали

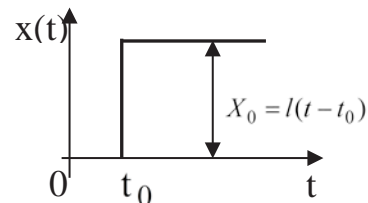


Рис. 2. Одиничний стрибок

Різним круговим частотам $\omega = 2\pi f$ ($f = \frac{1}{T_c}$ – циклічна частота, T_c – період синусоїдного тестового сигналу $x(t)$) за умови $X_{\max} = \text{const}$ відповідають різні зсуви фаз ϕ і різні співвідношення амплітуд Y_{\max} , X_{\max} вихідного та вхідного сигналів РТС.

Це дає змогу використовувати ці залежності для визначення частотних характеристик системи:

- АЧХ як залежності амплітуди Y_{\max} (чи середньоквадратичного значення (СКЗ) Y) вихідного сигналу $y(t)$ системи або найчастіше відношення амплітуд $\frac{Y_{\max}}{X_{\max}}$ (чи СКЗ $\frac{Y}{X}$) вихідного та вхідного сигналів системи від частоти ω (або циклічної частоти вхідного сигналу f);

- фазово-частотної характеристики (ФЧХ) як залежності фазового зсуву ω між вихідним $y(t)$ і вхідним $x(t)$ сигналами системи від частоти ω (або f).

Недоліком таких сигналів є неможливість технічної реалізації синусоїдного сигналу без вищих гармонік (коефіцієнт гармонік у синусоїдного сигналу завжди більше нуля). Гармоніки такого вимірювального сигналу можуть розглядатися у вигляді перешкоди, що вносить додаткові похибки в результат вимірювання.

Для дослідження та оцінки часткових часових динамічних характеристик радіотехнічних систем використовують стрибкоподібні тест-сигнали $x(t)$ [3; 6]. Причому під часовими динамічними характеристиками систем маються на увазі не тільки установлені ГОСТ 8.009-84, але й інші, що широко використовуються в практиці вимірювань, наприклад САУР або ЗВТ системи навігації та управління рухом морських суден.

Якщо рівень стрибка дорівнює X_0 , то відгук системи на такий сигнал визначається за такою формулою:

$$g(t) = \frac{y(t)}{X_0}$$

Для однакового опису тест-стрибків і відповідних їм відгуків РТС незалежно від виду фізичної величини вибирають $X_0 = 1(t - t_0)$ і такий стрибок називають одиничним (рис. 2), а відгук (реакцію) на нього $g(t)$ – перехідною характеристикою (функцією).

Уявлення про одиничний стрибок як миттєве (або стрибкоподібне) змінювання рівня тест-сигналу $x(t)$ є ідеалізацією. Реально час стрибкоподібного змінювання сигналу не є нульовим, тобто нескінченно малим. Найбільш часто зустрічаються аперіодична та коливальна перехідні характеристики радіотехнічних систем, що наведені на рис. 3 [6; 7].

Аперіодична перехідна характеристика (рис. 3 а) справедлива для систем із затримкою першого порядку, а коливальна перехідна характеристика (рис. 3 б) – для систем із затримкою другого порядку, тобто із затухаючим коливальним перехідним процесом і запізненням.

Аперіодична крива (рис. 3 а) є розв’язанням диференціального рівняння, яке описує передатну ланку із затримкою першого порядку:

$$\tau \dot{y} + y = X_0,$$

де τ – момент часу подачі (прикладання) вхідного сигналу.

Розв’язання цього диференціального рівняння

$$h(t, \tau) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

є імпульсною характеристикою РТС [7; 8].

Коливальна крива (рис. 3 б) являє собою розв’язання диференціального рівняння [7], що описує передатну ланку із затримкою другого порядку.

Так, наприклад, одна з конкретних форм запису рівняння

$$a_2 \ddot{y}(t) + a_1 \dot{y}(t) + a_0 y(t) = kx(t)$$

має вигляд:

$$\tau^2 \ddot{y} + 2d\tau \dot{y} + y = kX_0,$$

де d – відносний коефіцієнт затухання (демпфірування) РТС;

k – статичний коефіцієнт передачі (коефіцієнт підсилення) РТС.

Перехідні характеристики динамічних систем з коливальним перехідним процесом за різних значень коефіцієнта затухання d зображені на рис. 4.

Теоретично вихідний сигнал (відгук) $y(t)$ або перехідна характеристика $g(t)$ РТС досягає свого дійсного (усталеного) значення $Y_0 = kX_0$ за нескінченно великий інтервал часу.

Але за часову характеристику цього процесу використовують час установлення (заспокоєння) T_y (або час реакції t_c), за який сигнал $y(t)$ досягає певного значення (рівня).

Так, для систем з аперіодичною перехідною характеристикою (рис. 3 а) за час установлення T_y

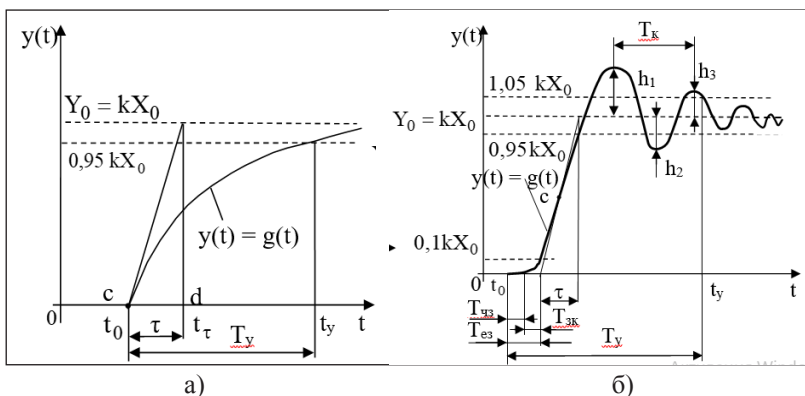


Рис. 3. Перехідні характеристики радіотехнічної системи: а – аперіодична; б – коливальна

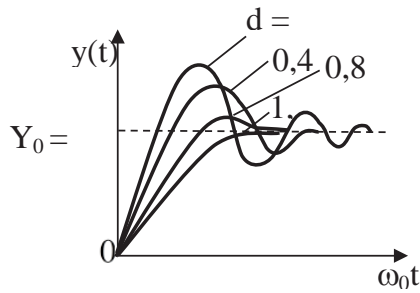


Рис. 4. Перехідні характеристики радіотехнічної системи для різних значень коефіцієнта затухання d

приймають інтервал від моменту часу початку дії одиничного стрибка t_0 до моменту часу t_y , за якого вихідна величина $y(t)$ або перехідна характеристика $g(t)$ системи перестає виходити за межі (рис. 3 а)

$$(1 \pm 0,05)Y_0 = (1 \pm 0,05)kX_0.$$

Важливою часовою характеристикою системи з аперіодичною перехідною характеристикою є постійна часу τ , яка визначається як інтервал часу між абсцисою s точки t_0 перетину дотичної до перехідної характеристики $g(t)$ з віссю t та абсцисою d точки t_τ перетину тієї самої дотичної з лінією $Y_0 = kX_0$ (рис. 3 а) [12; 13].

Для систем з коливальною перехідною характеристикою (рис. 3 б) показані також час чистого запізнення $T_{чз}$, час затримки коливань $T_{зк}$, еквівалентний час запізнення $T_{езз}$, постійна часу τ і період коливань T_k .

Час затримки коливань $T_{зк}$ визначається точкою перетину дотичної у точці s кривої вихідного сигналу $y(t)$ з віссю t . Але оскільки ланки затримки високих порядків не мають чітко виражених меж між цими часовими параметрами, то їх звичайно об'єднують в еквівалентний час запізнення $T_{езз} = T_{чз} + T_{зк}$ [14].

Для окремих систем замість часу встановлення коливань T_y вводять час наростання відгуку T_B , який відрховується між рівнями $0,1 \cdot kX_0$, $0,95 \cdot kX_0$ і (рис. 3 б).

Аналогічно попередньому час установлення (заспокоєння) T_y систем з коливальною перехідною характеристикою являє собою інтервал часу від моменту t_0 початку дії одиничного стрибка до моменту часу t_y , коли вихідний сигнал $y(t)$ або перехідна характеристика $g(t)$ системи перестає виходити за поле допуску, що розташовується між рівнями $0,95Y_0 = 0,95 \cdot kX_0$ та $1,05Y_0 = 1,05 \cdot kX_0$. Тобто поле допуску становить $\pm 0,05Y_0 = \pm 0,05 \cdot kX_0$ і розташоване симетрично відносно рівня усталеного значення $Y_0 = kX_0$.

Імпульсна характеристика (функція) РТС визначається як її реакція (відгук) на корот-

кий імпульс з амплітудою $X_0 \rightarrow \infty$ і тривалістю $T_0 \rightarrow \infty$, який називають одиничним імпульсом або дельта-функцією та позначають $\delta(t)$ [10; 11].

Основна властивість дельта-функції полягає у виконанні умови

$$\int \delta(t) dt = 1,$$

тобто вона має одиничну площу. Як впливає з цього виразу розмірність дельта-функції дорівнює c^{-1} .

Але ідеально сформувані одиничний імпульс $\delta(t)$ неможливо. Тому на практиці замість нього формують квазіодиничний імпульс або квазідельта-імпульс $\delta_k(t)$, який має обмежені амплітуду X_0 і тривалість T_0 , причому необхідно виконати умову $T_0 \ll \tau$.

Одиничний імпульс, як і одиничний стрибок, – це математична ідеалізація. Тому на практиці для визначення вагової функції формують одиничний імпульс такої тривалості, щоб до його завершення досліджувана система залишилася ще в стані спокою.

Імпульсну характеристику $h(t)$ РТС теоретично можна визначити диференціюванням перехідної функції. За приклад на рис. 5 якісно показана крива цієї характеристики, отримана диференціюванням перехідної характеристики, зображеної на рис. 3 а [15].

Таким чином, вважаємо за доцільне впровадження для визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден засобів синтезу (калібраторів) вимірювальних сигналів з поліпшеними характеристиками. Серед певної низки переваг від використання таких сигналів найбільш суттєвими є значне скорочення часу, що виділяється на проведення вимірювання параметрів, тобто контролю технічного стану систем, збільшення міжповірочних інтервалів, підвищення точності відтворення форми сигналу, підвищення перешкодостійкості та точності визначення параметрів радіотехнічних систем спеціального призначення, що контролюються, тобто підвищення достовірності контролю їхнього технічного стану.

Висновки. У кожному конкретному практичному випадку вибір вигляду дослідного сигналу (тест-сигналу) і динамічної характеристики системи, що визначається, диктується технічною або економічною доцільністю.

Наведено, що найбільш поширеними є гармонійні сигнали, які мають певні недоліки. Обґрунтовано, що більш ефективно використовувати для контролю технічного стану систем і комплексів

навігації та управління рухом морських суден вимірювальні сигнали складної форми (полігармонійні).

Застосування запропонованих теоретичних основ і практичних методів синтезу вимірювальних сигналів дає змогу створити якісно нові види приладів контролю. Запропоновані у роботі методи синтезу та обробки, а також алгоритми

роботи калібраторів (мір) і аналізаторів розроблених вимірювальних сигналів можуть бути застосовані у разі створення автоматизованих приладів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. Це дає змогу скоротити витрати часу на проведення заходів з технічного обслуговування та підвищити його якість.

Список літератури:

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. Санкт-Петербург : ЦНИИМФ, 2008. 984 с.
2. Беляєвський Л.С. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті : навчальний посібник для вузів транспортного профілю / Беляєвський Л.С., Ткаченко А.М., Левковець П.Р. та інші. Київ : В-во «Даж Бог», 2009. 216 с.
3. Богомья В.І., Горбань А.В., Павленко М.А., Тимочко О.І., Тимошук О.М. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання / за заг. ред. О.М. Тимошук. Київ. ДУІТ. 2018. 305 с.
4. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания : учебное пособие. Одесса : Феникс. 2009. 518 с.
5. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса : Феникс, 2007. 367 с.
6. Баранов Г.Л. Брайловський М.М., Засядько А.А. та інші. Р-моделювання складних динамічних систем. Київ : ДУІКТ, 2008. 131 с.
7. Mozeson E., Levanon N. Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. *IEEE Proc.-Radar Sonar Navig.* 2003. Vol. 150, № 2. P. 71–77.
8. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. *Journal of Aircraft.* 2005. Vol. 42, № 2. P. 421–428.
9. Recio A., Rhode W.S. Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2000. Vol. 108, № 5. P. 2281–2298.
10. Даки О.А. Автоматичні прилади контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту. *Новітні технології* : збірник наукових праць. 2019. Вип. 1 (8). С. 95–104. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.12.
11. Даки О.А. Кривошей Ф.О., Панов С.Л. Розробка автомата контролю лінійних і нелінійних систем управління та навігації засобів водного транспорту. *Наукоємні технології.* 2018. № 4(40). С. 458–463. DOI: 10.18372/2310-5461.40.13272.
12. Измерительные информационные системы. / Под общей ред. Н.А. Рубичева. Москва : Дрофа, 2010. 334 с.
13. Доронин В.В. Радионавигационные приборы и системы. Киев : КГАВТ, 2006. 472 с.
14. Богомья В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден. 2012. Київ : ДВВП «Компас». 336 с.
15. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. Санкт-Петербург : НПО «Профессионал», 2008. 284 с.

АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассмотрено наличие в практике контроля технического состояния сложных систем противоречия, а именно обеспечение заданной достоверности информации о техническом состоянии радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта требует увеличения объема и точности измерений при оценке их характеристик, с одной стороны, с другой – отсутствие методов автоматизации процессов синтеза измерительных сигналов и обработки отзвучив на них для этого. Реализация традиционного подхода к измерению характеристик амплитудно-частотного спектра динамических объектов требует значительной трудоёмкости измерений. Избежать данного недостатка можно за счёт использования измерительных сигналов. Постановка задачи получения оптимальных параметров измерительных сигналов предусматривает анализ измерительных сигналов и определения конкретных критериев синтеза.

Ключевые слова: эксплуатация, радионавигационные комплексы, управление движением, средства водного транспорта, методы, измерительные сигналы, автоматизация контроля.

**ANALYSIS OF MEASUREMENT SIGNALS
FOR CONTROL OF THE TECHNICAL STATE OF THE RADIONAVIGATION
COMPLEXES OF MANAGEMENT OF MOVING VEHICLES OF WATER TRANSPORT**

In the article the presence in the practice of controlling the technical condition of complex systems of contradiction is considered, namely the provision of the given reliability of information about the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of water transport means requires an increase in the volume and accuracy of measurements in evaluating their characteristics, on the one hand, and on the other – the lack of methods for automating processes the synthesis of the measurement signals and processing feedback on them for this. Implementation of the traditional approach to measuring the characteristics of the amplitude-frequency spectrum of dynamic objects, requires a considerable complexity of measurements. Avoid this disadvantage due to the use of measuring signals. The task of obtaining optimal parameters of measuring signals involves the analysis of measuring signals and the determination of specific synthesis criteria. According to the results of the analysis of measuring signals and known methods for measuring the synthesis of measuring signals for the control of the technical state of the radionavigation complexes of motion control of water transport vehicles, it is proposed to develop an optimal method for synthesizing measurement signals with the required spectrum and conduct an experimental verification of the obtained theoretical results and develop recommendations for their implementation for automated control of the technical state, radionavigation complexes for controlling the movement of water resources of transport.

Key words: operation, radionavigation complexes, traffic control, means of water transport, methods, measuring signals, automation of control.

УДК 621.181.2
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/25>

Данилян А.Г.

Дунайский институт
Национального университета «Одесская морская академия»

Тирон-Воробьёва Н.Б.

Дунайский институт
Национального университета «Одесская морская академия»

Романовская О.Р.

Дунайский институт
Национального университета «Одесская морская академия»

Маслов И.З.

Дунайский институт
Национального университета «Одесская морская академия»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

В статье изложена проблематика «скопления-переселения» чужеродных инвазий с постоянным «переносом» балластной воды на морских судах; также внимание акцентируется на основных требованиях нововведённой конвенции ИМО (англ. International Maritime Organization, IMO) (в частности, более «ужесточённое» требование D-2). По заданной конвенции (ссылаясь на основные правила и придерживаясь основных требований) авторами – сотрудниками Дунайского института НУ «ОМА» (г. Измаил) приведена доработанная усовершенствованная схема-концепция по разработке установки для обеззараживания и очистки балластных вод морских судов. Заданная концепция основывается на нанотехнологических принципах усовершенствования очистного сооружения балластных вод. Надлежащим преимуществом в предложенной установке являются необходимые «ключи-подходы», с одной стороны, мощного химического реагента, с другой же – высокотехнологичного конструктивного решения (более усовершенствованного, включающего принципы электрогидроудара), позволяющего избежать глубокого «заражения» балластных вод инвазивными чужеродными видами, в частности, индикаторными микробами.

Ключевые слова: балластные воды, угроза морских судов, инвазии, забортная вода, система обеззараживания и очистки балластных вод, электрогидроудар.

Состояние (постановка) проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими заданиями. В ранее опубликованных научных трудах авторов по данной тематике была предусмотрена конкретная цель – создание системы обеззараживания и очистки балластных вод на уровне современных требований D-2. Для этого были изучены новейшие установки обеззараживания и очистки балластных вод ведущих мировых производителей: Alfa Laval, Hyde Guardian, Ray Clean™, Elite Marine Ballast, Water Treatment System Corp и др. Многие из них далеки от уровня предъявляемых требований ИМО 71-й Конференции (MEPC 71/17) Комитета по защите морской среды.

Правило-требование D-2 определяет следующие нормативы качества балластных вод, которые должны содержать:

1) менее 10 жизнеспособных организмов размером 50 мкм или более в наименьшем измерении на один кубический метр;

2) менее 10 жизнеспособных организмов размером от 10 до 50 мкм в наименьшем измерении на один см³.

Индикаторные микробы, используемые для целей стандартов охраны здоровья человека, в следующих концентрациях:

1) токсигенный холерный вибрион (серогруппы O1 и O139) – менее 1 колониеобразующей единицы (КОЕ) на 100 см³ или менее 1 КОЕ на 1 г (сырого веса) образцов зоопланктона;

2) кишечная палочка – менее 250 КОЕ на 100 см³;

3) кишечные энтерококки – менее 100 КОЕ на 100 см³ [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Появление болезнетворных опасных штаммов в балластных водах стало достаточно частым явлением, если учесть, что сброс сточных вод в отдельных странах Африки, Индокитая производится без должной санитарной обработки. По результатам проводимых исследований в китайских портах на протяжении ряда лет выявлены болезнетворные штаммы кишечной палочки *E. coli*, в три и более раз превышающие предельный уровень [2]. Частыми становятся случаи по обнаружению и выявлению холерного вибриона в прибрежных водах острова Гаити; гепатит С, А часто обнаруживается в моллюсках, населяющих побережье Индии.

Наш Черноморский бассейн становится плацдармом переселений инвазий из других водных ресурсов планеты. Обнаружены новые виды пришельцев: многощетинкового червя – полихета *Streblospio sp.* (впервые был обнаружен в Новороссийском порту в 2001 г., в устье реки Цемес с численностью 980 экз./м²). Наблюдается большое количество средиземноморской копеподы-вселенца – циклопоидной *Oithona davisae*. Все эти инвазии появились в Чёрном море в связи с постоянным «перемещением» балластных вод судов. На фоне приближающейся техногенной катастрофы Чёрного моря в Украине Кабинет Министров отменил контроль изолированных балластных вод в портах (Постановление от 27 марта 2019 г.) с целью сниже-

ния коррупционной составляющей при контроле судов экологическими службами портов. На первый взгляд данное постановление отвечает международным нормам контроля балластных вод, которые в 2015 году были отменены во всем цивилизованном мире. К сожалению, Украина не пошла по пути электронного контроля, оставив открытым вопрос защиты от чужеродных инвазий своих территориальных вод. В настоящее время цивилизованный мировой флот проводит перевооружение судов в соответствии с требованиями D-2. Последние требования ИМО по сбросу балластных вод будут контролироваться специальным оборудованием с оповещением экологических служб портов в режиме онлайн (рис. 1) [3].

Формирование целей статьи.

Целью статьи является обоснование ранее предложенной схемы-системы управления обеззараживанием и очисткой балластных вод с соответствующим дополнением – применением электрогидроудара – более эффективного принципа уничтожения чужеродных инвазий.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием достигнутых научных результатов. Ранее разработанная сотрудниками Дунайского института Национального университета «Одесская морская академия» (ДИНУ «ОМА», г. Измаил) принципиальная схема по обеззараживанию и очистке балластных вод в настоящее время доработана и усовершенствована

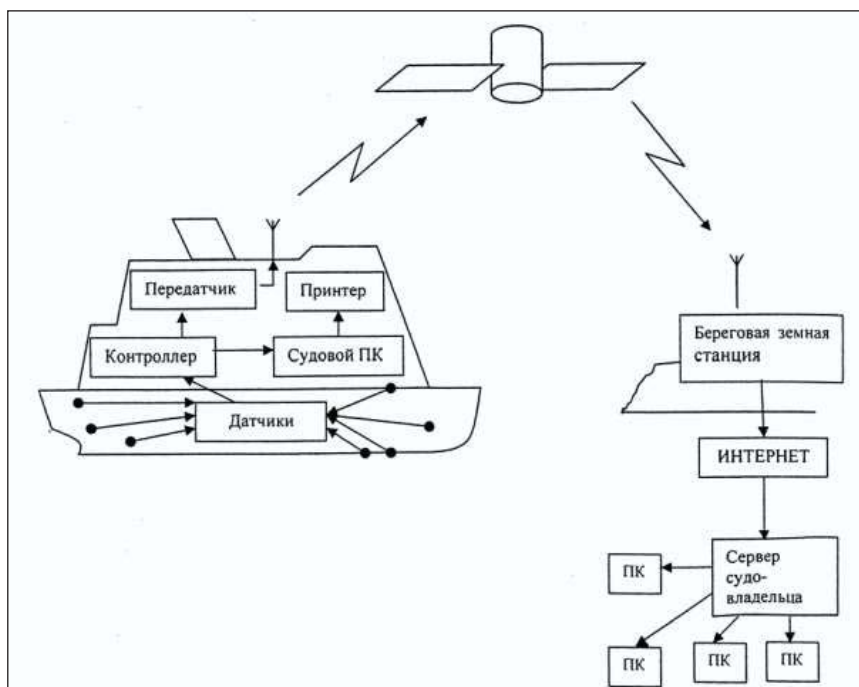


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга процесса замены балластных вод

с учётом повышенных требований D-2 (рис. 2 – Принципиальная схема очистки балластных вод, разработанная авторами статьи).

По мнению авторов статьи, удалось подойти к 100% обеззараживанию и очистке балластных вод благодаря интегрированию в схему очистки системы обеззараживания эффекта электрогидравлического удара. Данный метод впервые используется в установках подобного типа.

Обеззараживание сточных вод электрогидроударом зарекомендовало себя на протяжении длительного периода использования как эффективный и достаточно дешёвый метод уничтожения бактериальных колоний и патогенных штаммов.

Перенос данного метода в сферу деятельности Мирового морского флота сулит большие финансовые выгоды, значительно повышая уровень уничтожения инвазий, обеззараживая и очищая балластные воды.

На рис. 3. показана схема создания электрогидравлического эффекта (ЭГЭ), включающая источник питания с конденсатором в качестве накопителя электроэнергии. Напряжение на конденсаторе повышается до значения, при котором происходит самопроизвольный пробой воздушного формирующего промежутка, в этот момент вся энергия, накопленная в конденсаторе, мгновенно поступает на рабочий промежуток в жидкости, где и выделяется в виде короткого электрического импульса большой мощности. В дальнейшем сам процесс проходит при заданной ёмкости и напряжении, повторяясь с частотой, зависящей от мощности питающего трансформатора.

Опытным путём были установлены основные параметры ёмкости и напряжения различных рабочих режимов, которые увеличивают силу пробоя либо её снижают. Были установлены следующие режимы:

- жёсткий: $U > 50$ кВ; $C < 0,1$ мкФ;
- средний: 20 кВ $< U < 50$ кВ; $0,1$ мкФ $< C < 1,0$ мкФ;
- мягкий: $U < 20$ кВ; $C > 1,0$ мкФ.

Диаметр искры (стример) пропорционален мощности импульса, сам стример имеет достаточно плотную структуру, вокруг которого наблюдается высвобождение тепловой энергии с высокой ионизацией жидкости с появлением повышенной кавитации. Давление на оболочке стримера достигает десятков тыс. бар и более, которое резко снижается от оболочки к периферии в ёмкости с водой.

ЭГЭ обладает мощным воздействием на жидкость, сравнимый с радиационным химическим эффектом высокой степени ионизации.

В ранних опытах, поставленных ещё в 50-х годах, показаны хорошие результаты гибели бактерий под действием электрогидравлических ударов. Доказано, что под воздействием электрогидроударов в жидкости появляется мощный источник ультразвукового эффекта. В диапазоне 10-40 кГц звуковое давление составляет $2 \cdot 10^6$ Па, что и является основным фактором интенсивной гибели микроорганизмов.

Под действием ультрафиолетового и рентгеновского излучения плазмы канала стримера с выделением атомарного кислорода происходит полное сжигание всего органического, находящегося в воде. Варьируя показателями создания

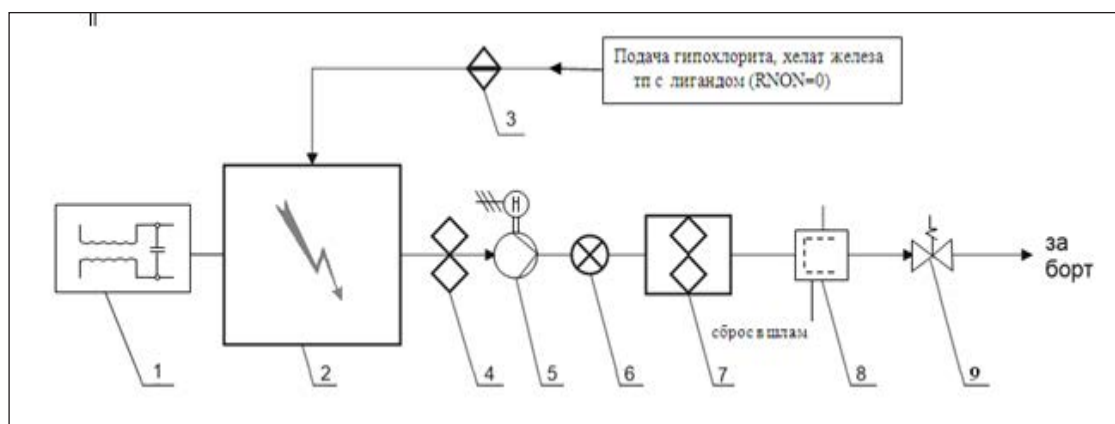


Рис. 2. Принципиальная схема очистки балластных вод, разработанная авторами статьи ДИ НУ «ОМА», г. Измаил: 1 – высокочастотный блок электрогидроудара, 2 – балластный танк, 3 – дозатор реагентов, 4 – фильтр грубой очистки, 5 – балластный насос, 6 – регулятор подачи воды, 7 – камера УФ, 8 – саморазгружающийся фильтр тонкой очистки, 9 – быстрозапорный клапан

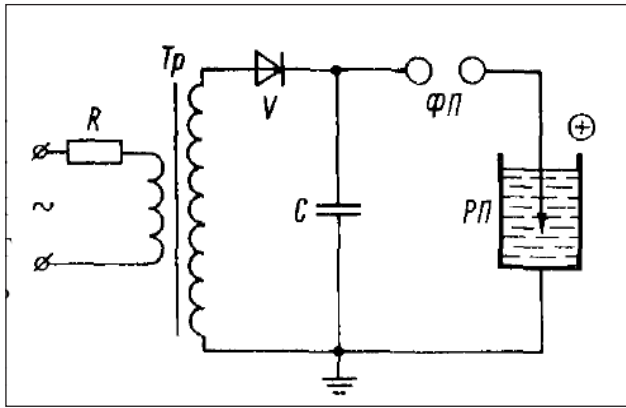


Рис. 3. Електрична схема для воспроизведения ЭГЭ с одним формирующим промежутком: R – зарядное сопротивление, ТР – трансформатор, V – выпрямитель, ФП – формирующий искровой промежуток, РП – рабочий искровой промежуток в жидкости, С – конденсатор

электрогидравлического удара и изучив особенности инвазий, болезнетворных штаммов, находящихся в балластной воде, можно разрушать любую клеточную структуру живых организмов [4].

Схема вновь доработанной установки принципиально отличается от многих других установок ведущих мировых фирм. В ней заложены два основных элемента, ранее никогда не использованные для обеззараживания и очистки

балластных вод. Это система ЭГЭ и система саморазгружающегося фильтра тонкой очистки с применением вращающихся фильтровальных дисков из нанокристаллических трубок, выращенных искусственным путём.

Выводы. Предлагаемая установка для использования её в Мировом морском флоте имеет неоспоримые преимущества: саморазгружающийся фильтр с нанокристаллическими вставками, который позволяет делать отсев твёрдых элементов и микроорганизмов в изолированных балластных водах до 10 микрон с низким сопротивлением проходящей воды; применение нового реагента хелата железа для обеззараживания и уничтожения (очистки) живых организмов в балластной воде, который прошёл успешные испытания по уничтожению вредных моллюсков в растениеводстве, что даёт полную уверенность его использования в изолированном судовом балласте; интегрирование системы ЭГЭ для обработки балластных вод является самым действенным элементом предлагаемой установки. Энергозатраты установки составляют 0,2–0,3 кВт на 1 м³, что вполне приемлемо для использования даже на самых больших океанских судах, где производительность откачки балласта доходит до Q = 6 тыс. м³/час.

Список литературы:

1. Доклад комитета по защите морской среды на его семьдесят первой сессии. ИМО, 18 августа 2017 г., Лондон. С. 20.
2. Звягинцев А.Ю., Селифонова Ж.П. Исследование балластных вод коммерческих судов в морских портах России. *Российский Журнал Биологических Инвазий*. 2008. № 2, С. 10.
3. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. *International Trends in Science and Technology*. Vol. 2, Desember 25, 2018, Warsaw, Poland. Данилян А.Г., Быковец Н.П., Тирон-Воробьева Н.Б. Новый подход в локализации инвазивных пришельцев в балластных водах морских судов. С. 10–15.
4. Юткин Л.Ю. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Ленинград: «Машиностроение», 1986. С. 246.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ТА ОЧИСТКИ БАЛАСТНИХ ВОД

У статті викладено проблематику «скупчення-переселення» чужорідних інвазій з постійним «перенесенням» балластної води на морських судах; також увага акцентується на основні вимоги відповідно до нововведеної конвенції ІМО (англ. *International Maritime Organization, IMO*) (зокрема, більш «жорстка» вимога D-2). За заданою конвенцією (посилаючись на основні правила та дотримуючись основних вимог) авторами – співробітниками Дунайського інституту НУ «ОМА» (м. Ізмаїл) приведено допрацьовану вдосконалену схему-концепцію з розробки установки для знезараження й очищення балластних вод морських суден. Задана концепція ґрунтується на нанотехнологічних принципах удосконалення очисної споруди балластних вод. Належною перевагою в запропонованій установці є необхідні «ключі-підходи», з одного боку, потужного хімічного реагенту, з іншого ж – високотехнологічного конструктивного рішення (вдосконаленого, що включає принципи електрогідродудару), що дає змогу уникнути глибокого «зараження» балластних вод від інвазивних чужорідних видів, зокрема індикаторних мікробів.

Ключові слова: балластні води, загроза морських суден, інвазії, забортна вода, система знезараження та очистки балластних вод, електрогідродудар.

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF DECOMPOSITION AND CLEANING OF BALLAST WATER

The article deals with the problem of “accumulation-relocation” of alien invasions with constant “transfer” of ballast water on sea-going ships; attention is focused on the basic requirements of the IMO (the International Maritime Organization) Convention (in particular, the more “toughened” requirement D-2). For a given convention (referring to the basic rules and adhering to the basic requirements), a modified and improved schematic concept for the development of a facility for decontamination and cleaning of ballast water of sea vessels is presented by the authors – lectures of the Danube Institute NU “OMA” (Izmail). The given concept is based on nanotechnological principles for improving the ballast water treatment plant. A proper advantage in the proposed installation is the necessary “key approaches”, on the one hand, a powerful chemical reagent, on the other hand, a high-tech constructive solution (more advanced, incorporating the principles of electro-hydraulic shock) to avoid deep “contamination” of ballast waters from invasive alien species, in particular, also indicator microbes.

Key words: ballast water, safety, threat of sea vessels, invasions, seawater, ballast water treatment and treatment system, electro-hydraulic shock.

Кириченко Г.І.

Державний університет інфраструктури та технологій

Стрелко О.Г.

Державний університет інфраструктури та технологій

Бердніченко Ю.А.

Державний університет інфраструктури та технологій

Петриковець О.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

Павлюк Є.І.

Державний університет інфраструктури та технологій

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

У статті розроблено концептуальні положення щодо розвитку мультимодальних перевезень в Україні, які здійснюються залізничним, автомобільним та морським видами транспорту у напрямку створення національної мультимодальної компанії для надання повного комплексу логістичних послуг. Авторами розглянуті фактори, які перешкоджають розвитку мультимодальних перевезень в Україні, а також приділено особливу увагу шляхам вирішення проблем у сфері мультимодального транспорту. Досліджено особливості формування транспортно-логістичної інфраструктури у світі та Україні. Зазначено, що створення системи логістичних комплексів у напрямках міжнародних транспортних коридорів з використанням торговельно-транспортного потенціалу країни перетворить логістику на сектор національної економіки. Проведено аналіз видів інтеграції в транспортній галузі, досліджено зарубіжний досвід створення логістичних комплексів, визначено передумови формування мережі мультимодальних транспортно-логістичних центрів в Україні. Також наголошено на важливості регулювання мультимодальних перевезень у зв'язку з підписанням Угоди про асоціацію між Україною та ЄС у частині співпраці у сфері «Транспорт» у розвитку комбінованого та мультимодального транспорту.

Ключові слова: транспортна інфраструктура, міжнародні транспортні послуги, мультимодальні перевезення, ефективність, оптимізація перевізного процесу.

Постановка проблеми. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р схвалено Національну транспортну стратегію України на період до 2030 року. Стратегія визначає основні напрями розвитку транспортної галузі на період до 2030 року. Реалізація Стратегії сприятиме наближенню України до ЄС, оскільки вона стосується запровадження Угоди про асоціацію та створення умов, які сприятимуть поступовій інтеграції України у внутрішній ринок ЄС; підвищенню якості надання транспортних послуг та забезпеченню створення рівних умов для надання транспортних послуг.

Також слід зазначити, що з метою створення ефективно працюючого транспортного комплексу України та досягнення Україною статусу регіонального транспортного хабу Стратегія враховує такі світові тенденції: використання високотехно-

логічних та ергономічних транспортних засобів, принципів мультимодальності, інформаційних технологій, електронного документообігу, масова контейнеризація перевезень, інтероперабельність транспортних систем у складі ланцюгів поставок тощо [1, 2]. Враховуючи постійно зростаючі вимоги споживачів щодо якості і комплексності, на сучасному ринку логістичних послуг виникла необхідність створення мультимодальної компанії, що здійснюватиме доставку вантажів за умови використання не менш ніж двох різних видів транспорту (з укладанням одного договору). Доставка вантажу передбачає комбінування різних видів транспорту та координацію часу операцій, узгодження наявних потужностей з транспортування, накопичення та зберігання вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, що висвітлене в даній статті, є неабияк

актуальним, адже на теренах транспортних послуг в Україні ще не створено саме національної компанії, яка могла б задовольнити повний комплекс логістичних послуг, спрямований на забезпечення якості послуг, прозорості у відношеннях з клієнтами та взаємодії з іншими видами транспорту та контролюючими органами.

Питанням розвитку мультимодальних перевезень присвячена значна кількість наукових публікацій [4–7], але окремі питання у цій сфері потребують подальшого дослідження, зокрема, задоволення повного комплексу логістичних послуг національною компанією.

Постановка завдання. В умовах інтенсивного розвитку світових торговельно-транспортних відносин та глобальних інтеграційних процесів важливого значення набуває підвищення ефективності мультимодальних перевезень вантажів між регіонами, країнами і континентами, а також визначення шляхів впровадження додаткових технологій на шляху створення мультимодальної національної компанії.

Виклад основного матеріалу. Розвиток мультимодальних (комбінованих) перевезень є перспективним напрямом розбудови транспортної системи України, оскільки дозволяє значно збільшити обсяги перевезень її територією за участю національних транспортних компаній, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності країни на світовому ринку транспортних послуг, розвитку мережі існуючих транспортних коридорів, інтеграції транспортної інфраструктури України до світової транспортної системи [8].

Створення мультимодальної компанії за принципом клієнтоорієнтованості насамперед здійснюється за напрямом відповідності до високих стандартів сучасної автоматизації всіх рівнів логістичних, технологічних та супутніх процесів, що супроводжують цикл надання широкого спектру послуг. Споживач, якому надаються логістичні послуги, є складником системи – доставки вантажів. З таких позицій визначені параметри якості надання послуги [9].

Основними параметрами якості логістичного обслуговування споживачів, які передбачено забезпечити у процесі розвитку компанії, є: час обробки замовлень; час надання послуги, зумовлений договором на послугу (час від отримання замовлення до доставки товару); контроль процесу доставки та інформування споживача; гарантована доставка за будь-яких умов; наявність товару на складі і його відвантаження за першою вимогою споживача; максимальна відповідність виконаних замовлень вимогам споживача; наявність необхідних потужностей для виконання замовлень; об'єктивність цін на логістичні послуги; наявність інформаційних систем про рівень, структуру витрат на логістичне обслуговування; зручність розміщення замовлень у логістичній системі (Єдине вікно); ступінь доступності контролю виконання замовлення в діючій логістичній системі; високий рівень технологій вантажопереробки і якості упаковки товару.

З метою логістичного обслуговування споживачів наразі надаються транспортні послуги, що включають в себе роботи з вантажами, контейнерами та вагонами:

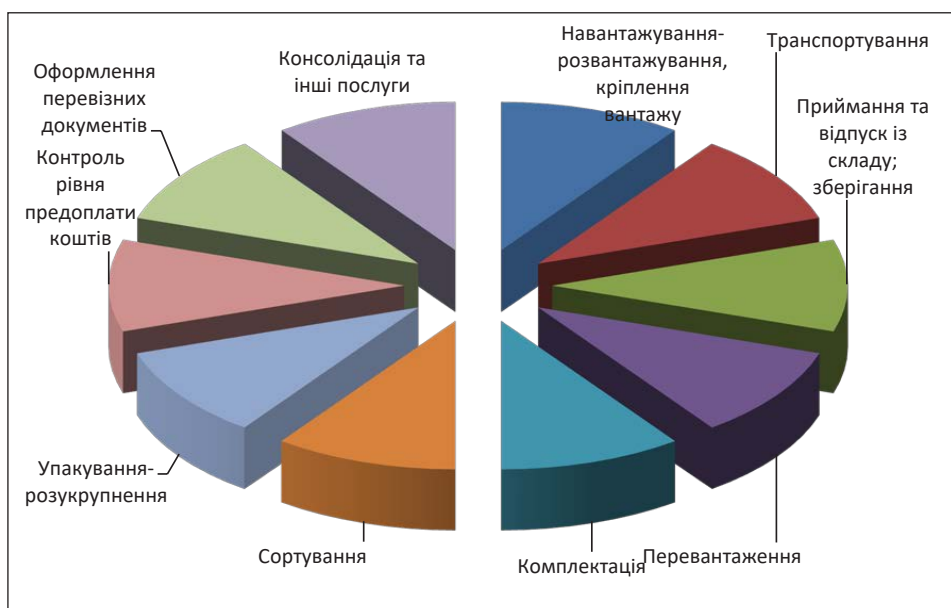


Рис. 1. Основні транспортні послуги, що наразі надаються залізницею

Розвиток підприємства як мультимодальної компанії передбачає реалізацію стандартів сучасної автоматизації логістичних процесів, в тому числі перевізних, технологічних та супутніх процесів. Автоматизація національної компанії з надання повного комплексу послуг клієнту передбачає функціонування комплексу інформаційного забезпечення, що включає: прогнозування ринку; планування доставки; прийом замовлення; контроль дотримання доставки; формування баз даних та баз знань щодо ситуацій та прийняття рішень диспетчерським персоналом; оперативну фінансову оцінку перевезення та формування пропозиції з гармонізації тарифів; супровід вантажу та інформування клієнта, в тому числі про наявність коштів для перевезення; управління складською діяльністю (контроль накопичення необхідної партії товару, вантажу); координацію дій учасників ланцюга доставки, взаємодію з АСУ інших видів транспорту, державними контролюючими органами; усунення паперових технологій у внутрішньому документообігу та мінімізацію паперових документів в процесі взаємодії із зовнішніми структурами; взаємодія з ERP системами рівня залізниці та держави; управління персоналом [4, с. 10–11].

Управління ланцюгами доставки вантажу потребує координації дій всіх учасників доставки. Мультимодальна компанія, що побудована за принципом клієнтоорієнтованості, є інтегратором відомостей, інформації, що супроводжують надання послуги на всіх етапах циклу. Обробка інформації, формування документів, координація дій відбувається за допомогою автоматизованих систем, що інтегровані між собою та у єдиний простір.

Інтегровані автоматизовані системи дозволяють мультимодальному оператору здійснювати комплексне надання якісних “door-to-door” послуг клієнтам, в тому числі на континентальному рівні, з можливістю реалізації принципу «останньої милі» доставки вантажу. Подальше розгалуження своїх представництв за кордоном для ведення більш ефективної маркетингової стратегії з метою підвищення рівня дохідності підприємства стане можливим та оперативним за наявності комплексу ІТ автоматизації всіх процесів [12–17].

Тому стратегічно необхідний керований комплекс дій, що спрямований на ІТ автоматизацію компанії, що буде розроблений за принципами масштабованості, адаптованості до технологічних та системних подій транспортно-логістичного комплексу та інтегрованості з системами сторонніх структур, як-от: митниця, портові автоматизовані системи управління, національна ERP система, європейські транспортно-логістичні ERP системи, автоматизована система Укрзалізниці та інших залізничних адміністрацій та країн.

Робота компанії за принципом мультимодального оператора з використанням автоматизованого комплексу управління всіма процесами має вирішувати задачі реалізації функцій комплексу ІТ автоматизації управління компанією.

ІТ рішення комплексу автоматизації поділяються на три умовні групи: «існуючі», «типові» та «необхідні».

«Існуючі» рішення вже були розроблені та певною мірою впроваджені в роботу на підприємстві або використовуються як окремі автоматизовані робочі місця для вирішення певних задач в процесі надання транспортно-логістичних послуг. До існуючих ІТ рішень належать: МЕСПЛАН, АСК

Існуючі	Типові	Необхідні
<ul style="list-style-type: none"> • МЕСПЛАН • АСК ВП УЗ • АРМ ТВК • АРМ Прийомоздавальника • АРМ КП • АС Клієнт УЗ • АРМ Вантажовідправника • 1С • Фобос 	<ul style="list-style-type: none"> • Система обробки замовлення • АСУ портів • АС авто • АСУ склад • Управління ресурсами 	<ul style="list-style-type: none"> • Диспетчер • АС автотранспорту • АСУ доставки вантажів

Рис. 2. ІТ рішення комплексу автоматизації

ВП УЗ, АРМ ТВК, АРМ прийомоздавальника, АРМ КП, АС Клієнт УЗ, АРМ Вантажовідправника, ІС, Фобос.

До «типових» ІТ рішень належать ті автоматизовані програмні продукти, які використовуються в галузі надання транспортно-логістичних послуг та зарекомендували себе як флагмани ринку з огляду на якість та високий рівень розв'язуваних ними функціональних задач.

«Система обробки замовлення», що побудована за принципом «єдиного вікна», надасть можливість автоматизувати весь вхідний процес обробки, сортування та розподілу замовлень на послуги від клієнтів. Важливим є те, що за допомогою принципу «єдиного вікна» буде виключено можливість корупційного складника вже на першому етапі роботи з клієнтом.

Інтеграція з «АСУ портів», що своєю чергою також побудовані за принципом «єдиного вікна», привнесе в роботу комплексу автоматизації компанії необхідний складник, що забезпечить інформованість щодо обороту контейнерів та вантажів, а також забезпечить необхідний рівень електронного документообігу на ланцюгу мультимодальної доставки вантажів.

Необхідний рівень злагодженої роботи по доставці вантажів стороннім автотранспортом буде досягнутий за рахунок інтеграції з сучасною автоматизованою системою керування автотранспортом, що зображена в таблиці як «АС авто». Типові вдалі рішення управління автотранспортом на ринку представлені системами, подібними до рішень компанії BGS Solutions.

Злагоджена робота керування потоками вантажів в складських приміщеннях та на площадках накопичення вантажів, їх консолідацією, розподіленням та накопиченням вантажних партій в межах термінальних складських комплексів буде досягнута шляхом автоматизованої системи управління складом, що відображена в таблиці як «АСУ склад».

Система «Управління ресурсами» має забезпечити необхідний рівень інформованості та контролю за раціональним використанням об'єктів управління та відстеження термінів своєчасного прийняття рішень щодо ремонту, оновлення та поповнення матеріально-технічної бази.

Використання системи ІС як функціональної автоматизованої фінансової системи, беручи до уваги розгалуженість її використання на ринку України, є вдалим рішенням обліку, аналізу та керування фінансовими потоками на підприємстві. «Типові рішення» повинні бути впроваджені

на підприємствах та інтегровані у весь комплекс автоматизації компанії.

«Необхідні» ІТ рішення – є такими, без яких не можливо ефективне функціонування національної компанії за принципом роботи мультимодального оператора і які повинні розроблятися з можливістю їхньої подальшої інтеграції з «існуючими» та «типовими» ІТ рішеннями.

Основним ланцюгом в комплексі управління стане автоматизована система «Диспетчер». Її головна задача полягає в контролі прогнозованої доставки вантажів. Можливість системи «Диспетчер» отримувати технологічні повідомлення від автоматизованих робочих місць та систем зробить процес доставки вантажів під час мультимодальних перевезень підконтрольним з можливістю оперативного втручання в процес доставки з метою прийняття управлінських рішень. Важливий стратегічний напрям розвитку компанії на ринку автоперевезень в якості перевізника вантажів в контейнерах буде виведений на національний рівень якості за рахунок розробки та впровадження в роботу власного автотранспорту автоматизованої системи, що схематично відображена на схемі як «АС автотранспорту». Реалізація в системі «АС автотранспорту» функцій планування, управління та контролю процесу перевезення вантажу зробить процес керованим та прозорим для клієнтів-замовників послуг.

Виконання функцій національного мультимодального оператора не можливе без розроблення централізованої корпоративної автоматизованої системи доставки вантажів, в якій будуть реалізовані задачі взаємодії між всіма автоматизованими системами та робочими місцями за принципом отримання замовлення, обробки провізних та супровідних документів за принципом електронного документообігу в системі мультимодальної доставки вантажів. В таблиці така система зображена як «АСУ доставки вантажів».

Мультимодальні перевезення в Україні не набули необхідного розвитку через низку причин, серед яких є такі:

– недосконалість нормативно-правового врегулювання питань змішаних перевезень.

– високі ризики мультимодальних операторів під час організації мультимодальних перевезень на значні відстані за участю двох і більше видів транспорту. Проблемним аспектом тут є необхідність для експедитора (оператора) брати на себе відповідальність за дії третіх сторін у міжнародному сполученні і нести високі ризики, забезпечуючи комунікацію та синергію в рамках мереж

логістичних центрів міжнародних транспортних коридорів.

– недостатність високопрофесійних і досвідчених спеціалістів з питань мультимодальних перевезень, які б на достатньому рівні володіли декількома іноземними мовами, знаннями національного і міжнародного права, практичним досвідом використання особливостей ведення переговорного процесу щодо укладання та реалізації договорів, сучасними відомостями стосовно стану ринку транспортних послуг у країнах-партнерах та актуальної тарифної політики представників партнерської мережі, ефективними методами контролю за пересуванням товарів на значні відстані з використанням двох і більше видів транспорту в режимі реального часу (онлайн), досвідом у процедурних питаннях розгляду судових справ та міжнародного арбітражного правочину тощо.

– відсутність представницької мережі національних експедиторських компаній за кордоном, яка б забезпечувала високий ступень узгодженості дій усіх учасників транспортування вантажу та захисту інтересів держави за межами України.

Висновки. Логістичний підхід до комплексного обслуговування отримувача послуг – це

потужний і ефективний інструмент оптимізації процесу доставки вантажів від пунктів відправлення до пунктів призначення за оптимальним маршрутом слідування із урахуванням принципів “door to door”, “just in time” та обов’язкового надання (за потреби) послуги «остання миля». Автоматизація всіх рівнів логістичних, технологічних та супутніх процесів, що супроводжують комплекс послуг для клієнту, можлива за умови створення національної мультимодальної компанії. Важливим складником заходів із забезпечення якості комплексної послуги є потужна технічна база. Тому, крім технологічних удосконалень, необхідно проведення певних заходів з реконструкції, розвитку виробничої бази, в тому числі за рахунок інвестицій. Звісно, що на шляху розвитку логістики контейнерних перевезень у країні присутні перепони, які не залежать від підприємства, а саме: недосконалі тарифи на перевезення залізницею; митні правила, що змінюються; високі ставки та портові збори тощо. Але впровадження логістичних принципів в управління надає можливість інтегрування підприємства до міжнародної транспортної мережі, а також задоволенню потреб національної економіки на сучасному рівні.

Список літератури:

1. The Association Agreement between Ukraine, on one part, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other part, the Verkhovna Rada of Ukraine, Kyiv, 2015. http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984_011. Revised December 2017. Accessed December 18, 2017.
2. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року (Проект). URL: <https://mtu.gov.ua/news/28581.html>.
3. Підлісний П.І., Брайковська А.М. Передумови організації мультимодальних перевезень вантажів вітчизняними операторами на міжнародному ринку транспортних послуг. *Економіст*. 2011. № 10 (300). С. 25–30.
4. Strelko O., Kyrychenko H., Berdnychenko Y., Hurinchuk S. Automation of Work Processes at Ukrainian Sorting Stations International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7(2.23) P. 516–518.
5. Kyrychenko H., Staryvka Y., Strelko O., Berdnychenko Y., Nesterenko H. Assessment of cargo delivery quality using fuzzy set apparatus International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7(4.3). P. 262–265.
6. Курган М.Б. Досвід експлуатації контейнерних поїздів у внутрішньому та міжнародному сполученні. *Українська залізниця*. 2016. № 12 (42). С. 49–53.
7. Darabann S., Stefanescu P., Crisan R. Economic Benefits of Developing Intermodal Transport in the European Union, *Annals of the University of Oradea: Economic Science*, 2012. Vol. 1(2). P. 81–87.
8. Котенко А.М., Крашенінін О.С., Шапатіна О.О. Удосконалення процесу комбінованих перевезень вантажів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків : 2014. № 4/3(70). С. 4–8.
9. Marinov M., Giovanni L., Bellisai G., Clevermann J., Mastellou A., Victória D., Deleva L. Analysis of rail yard and terminal performances, *Journal of Transport Literature*, 2014. Vol. 8(2). P. 178–200.
10. Nobbe A., Molinari M., Mistrangelo D., Keese T. Metrocargo: ein innovatives Konzept für intermodalen Gütertransport von Tür zu Tür, *Eisenbahntechnische Rundschau*, 2012. Vol. 3. P. 26–28.
11. Kolar P. Container shipping market dimensions and customer orientation in the Czech Republic, *Central European Business Review*, 2013. Vol. 2(4). P. 50–53. DOI: 10.18267/j.cebr.64
12. Lavrukhin O., Zapara V., Zapara Y., Shapatina O., Bogomazova G. Investigation into the bimodal transportation process by modelling rail module states, *Transport problems*, 2017. Vol. 12(2). P. 99–112. <http://doi.org/10.20858/tp.2017.12.2.10>.

13. Marinov M., Zunder T., Mortimer P. Rail Freight Services, Policy and Practice, World Transport, Policy & Practice, 2012. Vol.18(2). P. 30–38.
14. Огороков А.М. Розробка методики оптимізації технічних параметрів транспортних вантажних комплексів. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 2/3 (74). С. 9–14.
15. Snezana T., Slobodan Z. Development of Intermodal Transport and Logistics in Serbia, International Journal for Traffic and Transport Engineering, 2012. Vol. 2(4). P. 380-390. [http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2012.2\(4\).08](http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2012.2(4).08).
16. Собкевич О., Смельянова О. Щодо шляхів розвитку мультимодальних (комбінованих) перевезень в Україні. Аналітична записка. Інститут стратегічних досліджень. 2011. С. 6
17. Розпорядження КМУ «Про схвалення розроблених Міністерством інфраструктури планів імплементації деяких актів законодавства ЄС з питань транспортної політики та інфраструктури» від 25 лютого 2015 р. № 142-р. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/142-2015-p>.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ

В статье разработаны концептуальные положения по развитию мультимодальных перевозок в Украине, которые осуществляются железнодорожным, автомобильным и морским видами транспорта в направлении создания национальной мультимодальной компании для предоставления полного комплекса логистических услуг. Авторами рассмотрены факторы, которые препятствуют развитию мультимодальных перевозок в Украине, а также уделено особое внимание путям решения проблем в сфере мультимодального транспорта. Исследованы особенности формирования транспортно-логистической инфраструктуры в мире и Украине. Отмечено, что создание системы логистических комплексов в направлениях международных транспортных коридоров с использованием торгового-транспортного потенциала страны превратит логистику в сектор национальной экономики. Проведен анализ видов интеграции в транспортной отрасли, исследован зарубежный опыт создания логистических комплексов, определены предпосылки формирования сети мультимодальных транспортно-логистических центров в Украине. Также отмечена важность регулирования мультимодальных перевозок в связи с подписанием Соглашения об ассоциации между Украиной и ЕС в части сотрудничества в сфере «Транспорт», в развитии комбинированного и мультимодального транспорта.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, международные транспортные услуги, мультимодальные перевозки, эффективность, оптимизация перевозочного процесса.

MODERN TRENDS FOR THE DEVELOPMENT OF A MULTIMODAL CARGO TRANSPORT SYSTEM

The conceptual provisions on the multimodal transport development in Ukraine carried out by rail, road and sea transport in the direction of creating a national multimodal company to provide a full range of logistics services have been analyzed in the article. The authors pay special attention to factors hindering the development of multimodal transportation in Ukraine. Special attention is also devoted to ways of solving problems in the field of multimodal transport. The peculiarities of transport and logistics infrastructure formation in the world and Ukraine have been investigated. It has been noted that the creation of a system of logistics complexes in the directions of international transport corridors with the use of a unique trade and transport potential of the country will turn the logistics into a sector of the national economy. The analysis of the types of integration in the transport industry has been carried out. Foreign experience in the creation of logistics complexes has been investigated, and the prerequisites for forming a network of multimodal transport and logistics centers in Ukraine have been determined. The importance of multimodal transportation regulation in connection with the signing of the Association Agreement between Ukraine and the EU, in terms of cooperation in the “Transport” sphere in the development of combined and multimodal transport, has also been emphasized.

Key words: transport infrastructure, international transport services, multimodal transport, efficiency, optimization of the transportation process.

Кожушко А.П.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ЕНЕРГЕТИЧНІСТЬ СИСТЕМИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З ПЕРЕМІННОЮ МАСОЮ ЗА СТАЛОГО РУХУ

У статті виконано дослідження енергетичного складника машинно-тракторного агрегату з перемінною масою за умови сталого руху. Сформовані рівняння, які описують запас механічної енергії у коливальній системі колісного трактора та причинної або напівпричинної цистерн за вертикального, горизонтального та кутового переміщення. Визначено вплив енергетичного складника залежно від висоти рівня рідини в цистернах. Отримано закономірності впливу величини довжини мікронерівності на енергетичний складник. Запропоновано метод оцінки енергетичного складника руху за рахунок введення енергетичного коефіцієнта передачі.

Ключові слова: колісний трактор, цистерна, колювання рідини, нелінійна модель, енергетичний складник.

Постановка проблеми. Транспорт є однією з основних галузей будь-якої держави. Складовою частиною транспортних операцій є перевезення. Основна тенденція розвитку транспорту полягає в підвищенні енергонасиченості транспортної машини (вантажного автомобіля, колісного трактора тощо) та, відповідно, збільшення вантажу (твердого або рідкого), що перевозиться.

Не секрет, що в деяких агропромислових підприємствах доля транспортної роботи складає більше 50% на рік, тому дослідження та підвищення якості перевезень у цій галузі є пріоритетним.

Особливу увагу слід приділити перевезенню рідкого вантажу в цистернах, які транспортуються в фермерських угіддях колісними тракторами. На відміну від автомобільних цистерн, тракторні позбавлені перегородок, тому під час транспортування відбувається перерозподіл мас в агрегаті, що впливає на показники динамічності, енергетичності, безпеки руху тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розкриття проблематики дослідження енергонасиченості колісних тракторів відображено в роботах [1–4], які показують тенденцію розвитку тракторобудування як в світі загалом, так і в Україні зокрема. Відомі також роботи [5–9], в яких за рахунок динаміки руху транспортного засобу досліджують енергетичність за умови усталеного руху. Зокрема, в роботі [6] наведено методологічні викладки для оцінки додаткових енергетичних витрат для транспортно-тягової машини на основі дослідження амплітуди коливань величини тягової сили машини та сил опору. Матеріали роботи [7–8] спрямовані на дослідження впливу динаміки сільськогосподарських машин на енер-

гетичні витрати з використанням методу контролю характеристик агрегатів [7] з використанням коливальної системи машинно-тракторного агрегату [8]. Підводячи підсумок аналізу публікацій, слід зазначити, що всі вищепераховані роботи вирішують задачу енергетичності або в статичній постановці, або в квазістатичній (мається на увазі врахування не кутових прискорень, а лише лінійних). З огляду на це питання дослідження енергетичності системи колісного трактора з агрегатом перемінної маси в процесі виконання транспортної роботи є доволі актуальним.

Щодо аналізу робіт, присвячених перемінній масі (зокрема, руху рідини в цистерні), то варто згадати роботи І.В. Мещерського [10] та К.Е. Циолковського [11]. Однак у роботі [12] автори за допомогою математичного моделювання континуальної моделі низькочастотних коливань оболонки, використовуючи характеристики поверхневих хвиль Релея (частинних похідних), досягли перерозподілу мас в цистерні, а в роботі [13] континуальну модель замінили на дискретну модель, яка з достатньою для практики точністю може використовуватися в динамічній (нелінійній) моделі руху колісного трактора з агрегатом перемінної маси.

Постановка завдання. Основне послання, яке мають матеріали статті, – це дослідження енергетичності системи за умови впливу перемінної маси агрегату (колювання рідини в цистерні) на сталий рух колісного трактора, а також запропоновання методу оцінки енергетичного складника руху (у вертикальній, горизонтальній та кутовій площинах) в динамічній моделі під час виконання транспортної роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Матеріали статті є продовженням роботи [13], в якій наведено математичний апарат для тестування динамічних якостей транспортного засобу з причіп- (ПЦ) та напівпричіп-цистернами (НПЦ). На рис. 1 наведено спрощені схеми колісного трактора (типу ХТЗ-242К) з ПЦ та НПЦ, на основі яких обґрунтовувалась математична модель.

Динамічна модель руху колісного трактора з ПЦ та НПЦ вирішується на основі вирішення диференціальних рівнянь:

– вертикальних переміщень

$$\frac{d^2 y_{TP}}{dt^2} = f(y_{11}, y_{21}, y_K, y_S, \varphi_{TP}, \varphi_K, x_{TP}); \quad (1)$$

– позовжні переміщення

$$\frac{d^2 x_{TP}}{dt^2} = f(M_{KP}, i_{TP}, y_{TPi}, P_{BE}); \quad (2)$$

– кутові переміщення

$$\frac{d^2 \varphi_{TP}}{dt^2} = f(x_{TP}, R_x, R_y), \quad (3)$$

де y_{11}, y_{21}, y_K, y_S – вертикальне переміщення мостів трактора, кабіни та сидіння водія; φ_{TP}, φ_K – кут нахилу остову трактора та кабіни; x_{TP} – позовжне переміщення трактора; M_{KP} – крутний момент двигуна внутрішнього згоряння; i_{TP} – передавальне число трансмісії трактора; y_{TPi} – функція, яка описує зміну мікропрофілю та макропрофілю дороги; P_{BE} – нелінійна характеристика сили, що створюється коливанням рідини в цистерні; R_x, R_y – позовжня та вертикальний складник сили, яка прикладена до дишла з боку гаку трактора.

Розрахунок кінетичної енергії зводиться до вирішення елементарного рівняння

$$T = \frac{1}{2}(m \cdot V^2). \quad (4)$$

Зазначимо, що в результаті коливального процесу системи потенційна енергія перетворюється на кінетичну і навпаки. Це обумовлено законами збереження енергії (нелінійна модель замкнена). Таким чином, задля дослідження загального запасу механічної енергії коливального процесу достатньо знайти максимальне значення кінетичної енергії (при цьому значення потенційної буде дорівнювати мінімальному значенню).

Кінетична енергія для вертикальних, горизонтальних та кутових переміщень машинно-тракторного агрегату з ПЦ і НПЦ описуються наступними рівняннями

$$T_{УТР} = \frac{1}{2}(m_T \cdot \dot{y}_T^2 + m_K \cdot \dot{y}_K^2 + m_S \cdot \dot{y}_S^2 + m_1 \cdot (\dot{y}_1^u)^2 + m_2 \cdot (\dot{y}_2^u)^2); \quad (5)$$

$$T_{ЛТР} = \frac{1}{2}((m_{П} + m_p) \cdot \dot{y}_{П}^2 + m_3 \cdot (\dot{y}_3^u)^2 + m_4 \cdot (\dot{y}_4^u)^2 + m_k^p \cdot (\Delta \dot{y}_K)^2); \quad (6)$$

$$T_{ХТР} = \frac{1}{2} \left(\left(m_T + \sum_{i=1}^2 m_i + m_{DV} \right) \cdot \dot{x}_T^2 + (m_K + m_S) \cdot \dot{x}_K^2 \right); \quad (7)$$

$$T_{ЛТР} = \frac{1}{2} \left(\left(m_{П} + \sum_{i=3}^4 m_i + m_p \right) \cdot \dot{x}_{П}^2 + m_k^p \cdot (\Delta \dot{x}_K^p)^2 \right); \quad (8)$$

$$T_{\varphi ТР} = \frac{1}{2} (J_T \cdot \dot{\varphi}_T^2 + J_K \cdot \dot{\varphi}_K^2); \quad (9)$$

$$T_{\varphi ПР} = \frac{1}{2} ((J_{П} + J_v) \cdot \dot{\varphi}_{П}^2), \quad (10)$$

де m_T – маса остову трактора (разом з двигуном, причепом для агрегату та половиною дишла); m_K – маса кабіни; m_S – маса сидіння (разом із трактористом); $m_{П}$ – маса рами та оболонки цистерни (разом з дишлом або його половиною (для ПЦ)); m_p – маса глибинної частини рідини, що рухається разом із оболонкою; m_k^p – маси поверхневих шарів рідини, де відбуваються низькочастотні коливання; m_{DV} – це складник інерційної маси трактора, яка визначається параметрами двигуна та трансмісії; m_1, \dots, m_4 – маси мостів (разом із колесами); J_T, J_K – момент інерції трактора та кабіни; $J_{П}$ – момент інерції цистерни; J_v – момент інерції руху рідини в цистерні. Оскільки великий вплив на вертикальний запас механічної енергії транспортного засобу мають кутові переміщення (та, відповідно, кутовий запас енергії), то можна поєднати $T_{УТР}$ та $T_{\varphi ТР}$, а також $T_{ЛТР}$ та $T_{\varphi ПР}$.

На рис. 2 наведено залежності зміни загального запасу механічної енергії від рівня рідини в цистерні.

Аналіз отриманих залежностей (рис. 2) дозволив встановити, що на запас механічної енергії колісного трактора за руху в вертикальній, горизонтальній та кутовій площинах рівень рідини в ПЦ не впливає, адже діапазон значень:

- $T_{ХТР}(H)$ розкидано в межах 0,8% (рис. 2а);
- $T_{\varphi УТР}(H)$ розкидано в межах 2,6% (рис. 2б).

Що стосується причіпної цистерни МЖТ-16, то з даних на рис. 2 визначено, що з нарощуванням рівня рідини в цистерні запас механічної енергії збільшується в широкому діапазоні:

- $T_{ЛТР}(H)$ змінюється в межах 97 ... 556 кДж (рис. 2а);
- $T_{\varphi ЛТР}(H)$ змінюється в межах 124 ... 388 Дж (рис. 2б).

Для трактора з напівпричіпною цистерною ВНЦ-20 запас механічної енергії збільшується в діапазоні:

- $T_{ХТР}(H)$ змінюється в межах 151 ... 237 кДж (рис. 2в);
- $T_{ЛТР}(H)$ змінюється в межах 625 ... 1143 кДж (рис. 2в);
- $T_{\varphi УТР}(H)$ змінюється в межах 49 ... 78 Дж (рис. 2в);

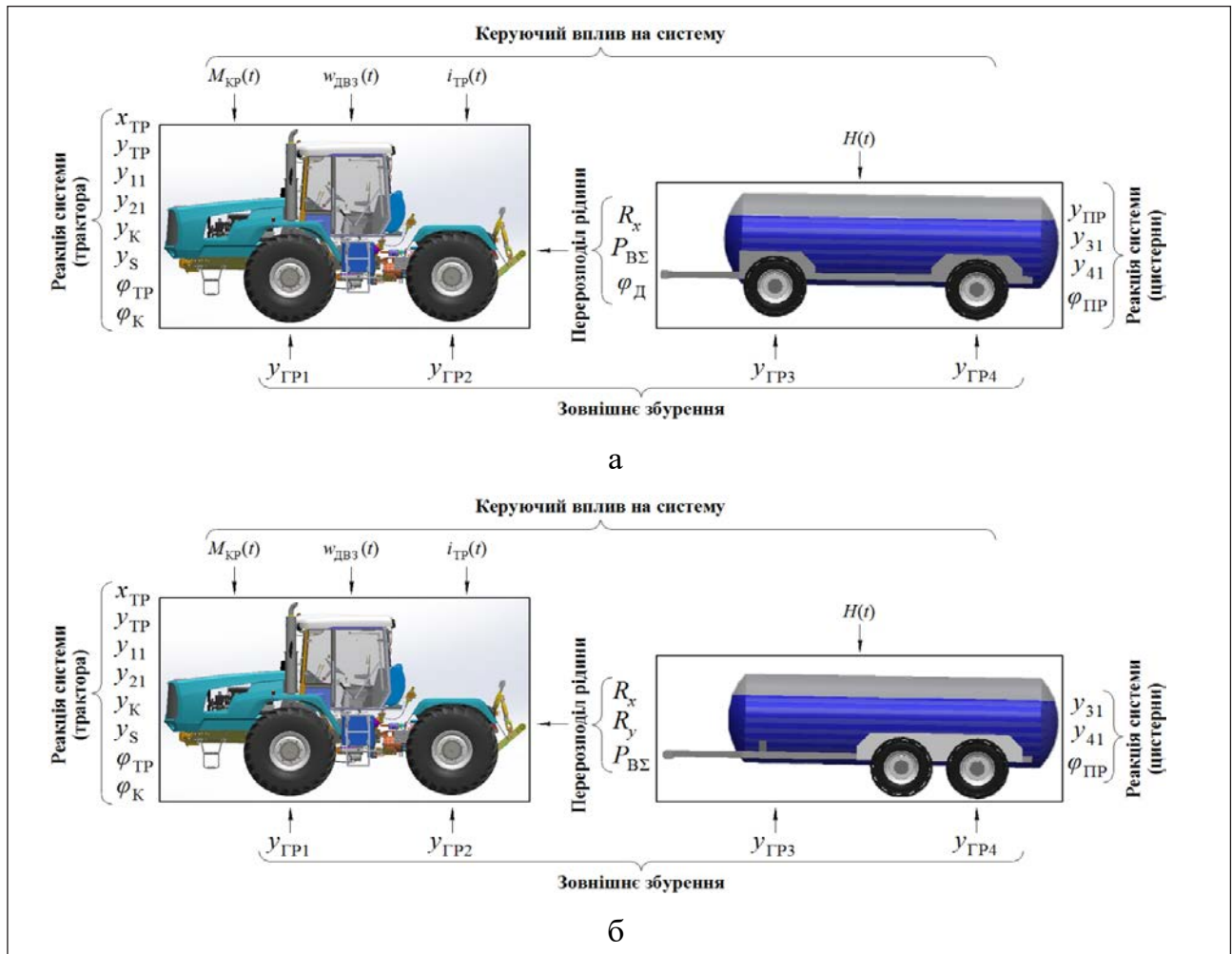


Рис. 1. Динамічна модель колісного трактора з агрегатами перемінної маси: а – ПЦ; б – НПЦ

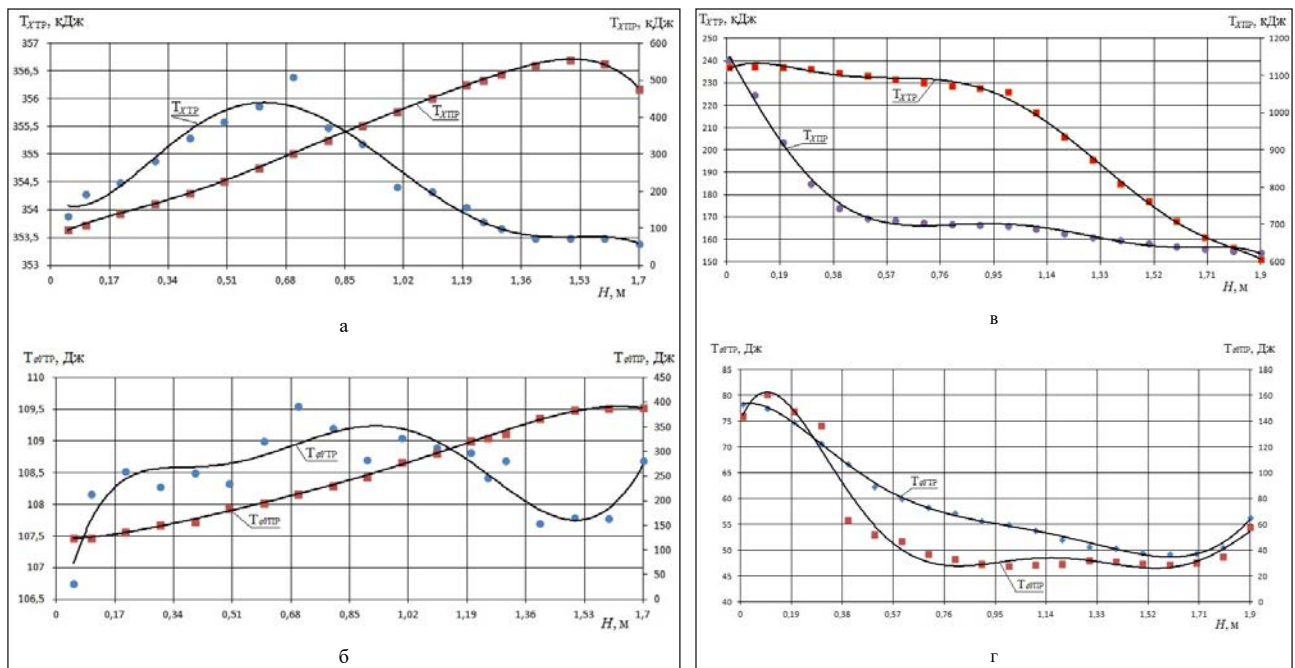


Рис. 2. Залежності зміни загального запасу механічної енергії від рівня рідини в цистерні: а, б – причіп-цистерна МЖТ-16; в, г – напівпричіп-цистерна ВПЦ-20; а, в – горизонтальні; б, г – вертикальні та кутові

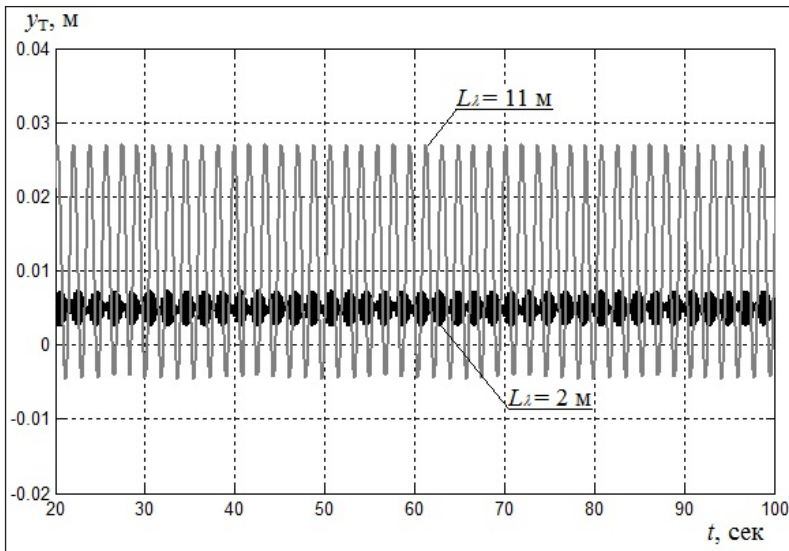


Рис. 3. Зміна вертикальних переміщень остова трактора за сталого руху в умовах різної довжини мікронерівностей

– $T_{\phi УПР}(H)$ змінюється в межах 28 ... 161 Дж (рис. 2 г).

Оскільки на запас механічної енергії колісного трактора (в вертикальних та горизонтальних площинах, а також кутових переміщеннях) рівень рідини в цистерні не впливає, то доцільно навести результати моделювання випадків впливу.

явище пояснюється зменшенням (для $T_{\phi УПР}(H)$ та $T_{\phi УПР}(H)$) швидкості деформації елементів коливальної системи.

Для НПЦ збільшення величини довжини мікронерівностей має суттєвий характер, про що свідчить збільшення запасу механічної енергії в усіх трьох площинах руху. Але водночас спостері-

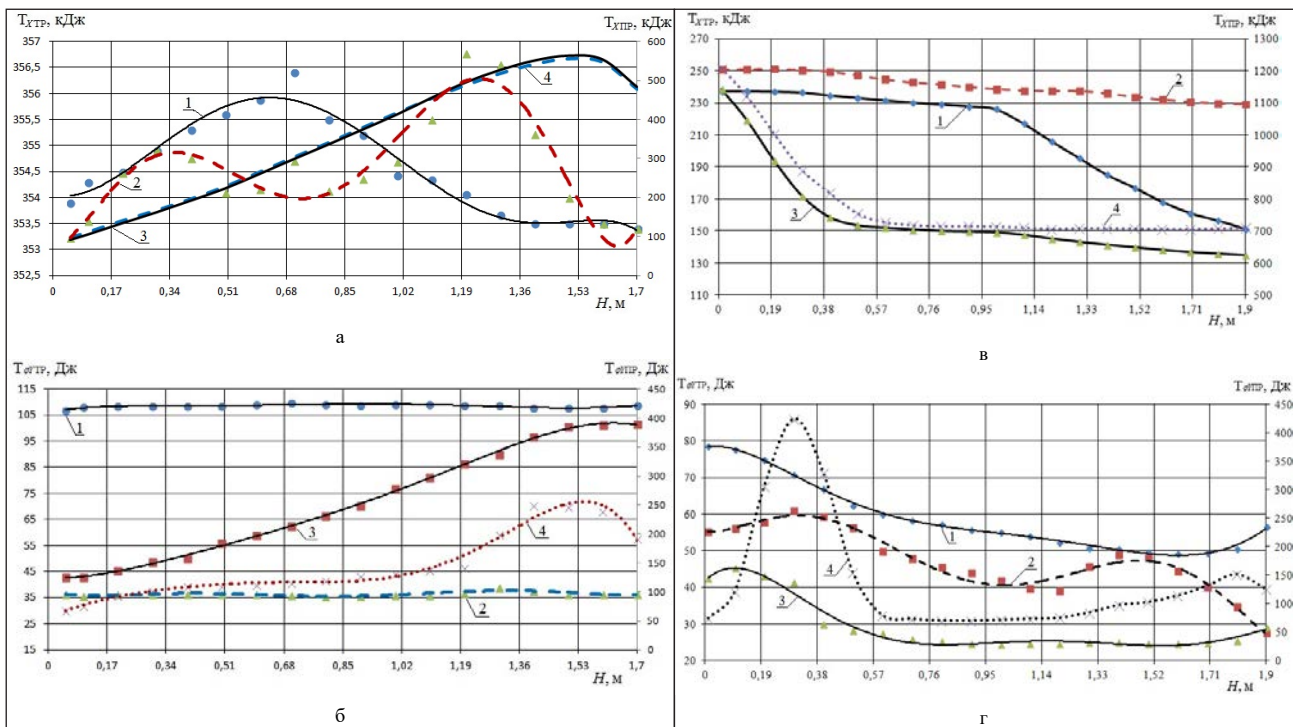


Рис. 4. Залежності зміни загального запасу механічної енергії від рівня рідини в цистерні під час транспортування з різною довжиною мікронерівностей: а, б – для причіп-цистерни МЖТ-16; в, г – для напівпричіп-цистерни ВНЦ-20; а – горизонтальна площина; б – вертикальна та кутова площини; 1 – трактора за $L_{\lambda} = 2$ м; 2 – трактора за $L_{\lambda} = 11$ м; 3 – цистерни за $L_{\lambda} = 2$ м; 4 – цистерни за $L_{\lambda} = 11$ м

гається зменшення величини енергії у вертикальній площині колісного трактора (що може пояснюватися наявністю складника R_y)

На основі вищенаведених залежностей (рис. 2, 4) доцільно оцінити вплив енергетичних складників ПЦ і НПЦ на трактор. Для цього необхідно дослідити «ідеальну» модель сталого руху, тобто не враховувати сумарну силу, яка діє на трактор з боку ґрунту у горизонтальному напрямку. Окрім того, необхідно ввести таке поняття, як енергетичний коефіцієнт передачі, який обчислюється за наступними рівняннями

$$k_{Tx} = \frac{T_{ХПР}(H)}{T_{ХТР}(H)};$$

$$k_{Ty} = \frac{T_{УПР}(H)}{T_{УТР}(H)};$$

$$k_{T\phi} = \frac{T_{\phi ПР}(H)}{T_{\phi ТР}(H)}.$$

На рис. 5 наведено залежність енергетичного коефіцієнту передачі від рівня рідини в ПЦ та НПЦ.

Аналізуючи результати, які наведені на рис. 5а, можна помітити, що для причіп-цистерни:

– у вертикальній площині (k_{Tx}) відбувається перерозподіл енергетичної передачі (за рахунок усадки центра ваги цистерни);

– у горизонтальній площині (k_{Ty}) спостерігається зворотна величина енергетичного коефіцієнта передачі, тобто вплив у даній площині коливань цистерни на трактор відсутній.

Для напівпричіп-цистерни (рис. 5б), також як і для причіп-цистерни, в горизонтальній площині (k_{Tx}) відбувається перерозподіл енергетичної передачі (за рахунок збільшення маси цистерни відносно маси трактора, а також в момент інерції рідини, що коливається, знаходиться в максимумі [13]).

В інших випадках енергетичний коефіцієнт передачі залишається не змінним, що вказує нам на вплив коливань рідини в цистерні на трактор.

Висновки. У статті наведено принцип фор-

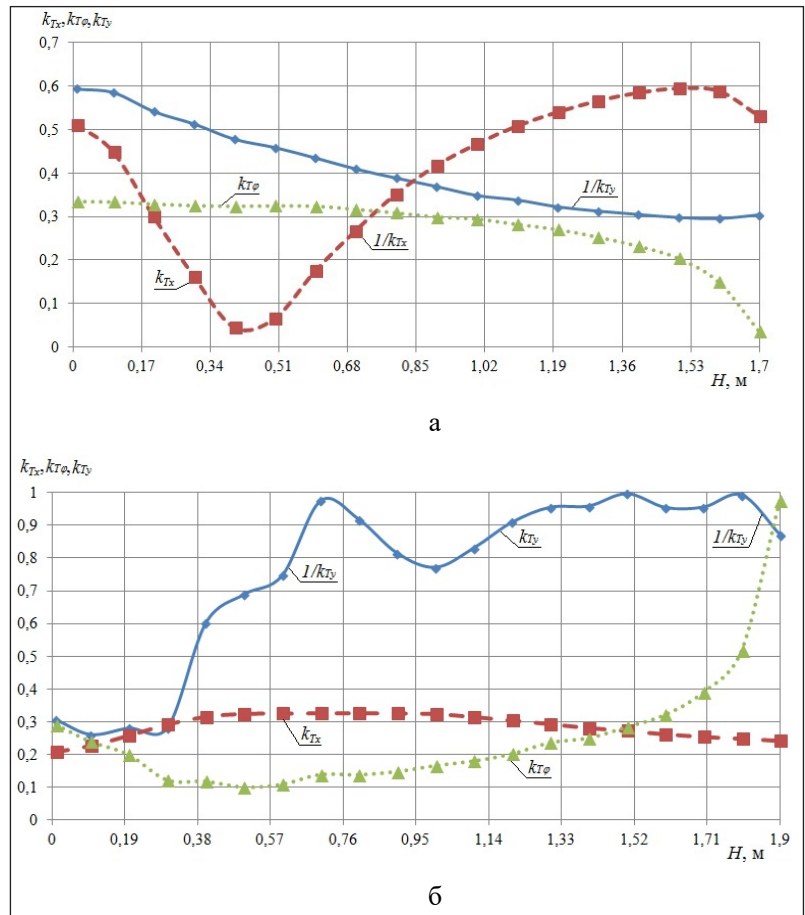


Рис. 5. Залежність енергетичного коефіцієнту передачі від рівня рідини у цистернах: а – причіп-цистерна МЖТ-16; б – напівпричіп-цистерна ВНЦ-20

мування динамічної (нелінійної) моделі прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою за сталого руху транспортної роботи. Встановлено запас механічної енергії в горизонтальній, вертикальній та кутовій площинах руху коливальної системи. Встановлено взаємозв'язок між зміною величини довжини мікронерівності та енергетичного складника колісного трактора та ПЦ, або НПЦ.

Встановлено, що перерозподіл мас в ПЦ не впливає на вертикальні та частково на горизонтальні переміщення (тільки до моменту усадки центру ваги цистерни). Для НПЦ перерозподіл мас не впливає тільки на вертикальні переміщення (тільки до моменту збільшення маси цистерни відносно маси трактора, а також в момент інерції рідини, що коливається, знаходиться в максимумі).

Список літератури:

1. Лебедев А.Т. Некоторые проблемы теории трактора тяговоэнергетической концепции. *Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ*. 2012. С. 5–13.

2. Самсонов В.А., Лачуга Ю.Ф. Расчет оптимальных значений мощности и энергонасыщенности сельскохозяйственного трактора. *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. № 7. С. 25–31.
3. Надькто В.Т. Роль энергонасыщенности тракторов в формировании их типажа. *Тракторы и сельхозмашины*. 2012. № 3. С. 16–21.
4. Кожушко А.П. Аналіз конструктивних особливостей причіпних та напівпричіпних цистерн у складі машинно-тракторного агрегату. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2019. № 5 (1330). С. 34–40. doi:10.20998/2413-4295.2019.05.05.
5. Кожушко А.П. Коливання механічних систем в автомобіле- та тракторобудуванні : навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А.М. 2018. 316 с.
6. Подригало М.А., Артемов Н.П., Абрамов Д.В., Шуляк М.Л. Оценка дополнительных энергетических потерь при установившемся режиме движения транспортно-тяговых машин. *Механіка та машинобудування «ХПІ»*. 2015. № 9 (1118). С. 98–107.
7. Артьомов М.П. Визначення тягових і енергетичних показників мобільних сільськогосподарських агрегатів при динамічних випробуваннях. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 13. С. 115–120.
8. Bulgakov V., Adamchuk V., Arak M., Nadykto V., Kyurchev V., Olt J. Theory of vertical oscillations and dynamic stability of combined tractor-implement unit. *Agronomy Research*. 2016. № 14(3). 689–710.
9. Шуляк М.Л., Лебедев А.Т., Артьомов М.П., Калінін Є.І. Оцінка функціонування сільськогосподарського агрегату за динамічними критеріями. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2016. № 4. С. 218–226.
10. Мещерский И.В. Работы по механике тел переменной массы. Москва : Техничко-теоретической литературы. 1949. 275 с.
11. Циолковский К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами. *Научное обозрение*. 1903. № 5. С. 45–75.
12. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Математичне моделювання низькочастотних коливань в'язкої рідини в горизонтальній смності з вільною поверхнею. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. № 3 (1279). С. 41–51.
13. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Моделювання пов'язаних коливань колісного трактора та цистерни з рідиною на прямому шляху зі складним рельєфом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. № 27 (1303). С. 34–61.
14. Кальченко Б.І., Кожушко А.П., Кісельов А.Р. Оцінка плавності руху самохідної машини при впливі нерівностей поверхні. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2017. № 30 (1252). С. 56–63.

ЭНЕРГЕТИЧНОСТЬ СИСТЕМЫ МАШИНО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С ПЕРЕМЕННОЙ МАССОЙ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДВИЖЕНИИ

В статье выполнено исследование энергетической составляющей машинно-тракторного агрегата с переменной массой при постоянном движении. Сформированы уравнения, описывающие запас механической энергии в колебательной системе колесного трактора и прицепной или полуприцепной цистерны при вертикальном, горизонтальном и угловом перемещении. Определено влияние энергетической составляющей в зависимости от высоты уровня жидкости в цистернах. Получены закономерности влияния величины длины микронеровности на энергетическую составляющую. Предложен метод оценки энергетической составляющей движения за счет введения энергетического коэффициента передачи.

Ключевые слова: трактор колесный, цистерна, колебания жидкости, нелинейная модель, энергетическая составляющая.

ENERGETIC SYSTEM OF MACHINE AND TRACTOR UNITS WITH VARIABLE WEIGHT AT A CONSTANT MOVEMENT

In the article is carried out the research of the energy component of the machine-tractor unit with variable weight at a constant motion. Generated equations describing the supply of mechanical energy in the vibration system of a wheeled tractor and trailer or semi-trailer cisterns at vertical, horizontal and angular displacement. The influence of the energy component depending on the height of the liquid level in the cisterns is determined. The regularities are obtained of the influence of the magnitude of the length of microworld energy on the energy component. The method is proposed of estimating the energy component of motion due to the introduction of the energy transfer coefficient.

Key words: wheeled tractor, cistern, fluid fluctuations, nonlinear model, energy component.

Лисенко О.І.

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

Тачиніна О.М.

Національний авіаційний університет

Кисельов В.Б.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

АЛГОРИТМ КВАЗІІНВАРІАНТНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В РЕЖИМІ СЕРЕДНЬОШВИДКІСНОГО ПІДЙОМУ

Пропонується алгоритм квазіінваріантного управління (АКУ), який дозволяє зменшити величину поштовхового впливу на швидкість пересування вертикального транспортного засобу. АКУ не потребує використання спеціальних керованих роликів, вимірювача величини поштовху та системи управління роликами.

Ключові слова: цифрове управління, комп'ютерне моделювання, алгоритм управління, інваріантні системи, адаптивні системи, динамічні системи, конструювання регуляторів, спостерігачі стану.

Вступ. Вертикальні транспортні засоби (ВТЗ) – ліфти, активно застосовуються як в житлових будинках, так і на промислових об'єктах [1]. Першою проблемою під час середньо швидкісного підйому ВТЗ є поштовхові навантаження на його привід [2; 5–7]. Ці навантаження сприяють підвищеному зношуванню ВТЗ та створюють умови виникнення дискомфорту в процесі використання ВТЗ для перевезення людей [2; 7].

Постановка проблеми. Сьогодні основним способом боротьби із поштовховим навантаженням є технологія типу ActiveRollerGuideSystem [7]. У цій технології задіяні спеціальні ролики, що управляються спеціальною системою вимірювання та гасіння поштовхових збурень. У цій статті пропонується алгоритм квазіінваріантного управління (АКУ), який дозволяє зменшити величину поштовхового впливу на швидкість пересування ВТЗ. АКУ не потребує використання спеціальних керованих роликів, вимірювача величини поштовху та системи управління роликами.

Алгоритм квазіінваріантного управління складається із трьох алгоритмів:

1. Алгоритму цифрового пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (ЦПІД-регулятора), який дозволяє забезпечити безпомилкове стеження за постійним задаючим сигналом

та прийнятну добротність управління під час стеження за задаючим сигналом, що лінійно змінюється в часі;

2. Алгоритму цифрового регулятора для корекції динамічних характеристик привода;

3. Алгоритму цифрового спостерігача Льюїнбергера разом із цифровим вимірювачем току у ланцюзі якоря електропривода, який дозволяє алгоритмічно оцінювати швидкість пересування ВТЗ.

Квазіінваріантність системи управління приводом ВТЗ забезпечується завдяки сумісному використанню властивостей усіх трьох алгоритмів: згладжуючої властивості ЦПІД-регулятора, регулятор корекції динамічних характеристик приводу, властивості цифрового спостерігача Льюїнбергера квазіотимально прогнозувати на крок вектор стану приводу.

Розглянемо модельний приклад побудови АКУ.

1. Припустимо, що відома неперервна ЛТІ-модель приводу ВТЗ [3; 4]. Побудуємо комп'ютерну (MATLAB+Simulink) неперервну ЛТІ-модель приводу ВТЗ з урахуванням того, що матриці A_n , B_n , C_n , D_n мають вигляд:

$$A_n = \begin{bmatrix} -25 & -7,5 \\ 7,5 & 0 \end{bmatrix}, B_n = \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & -5 \end{bmatrix}, C_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D_n = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

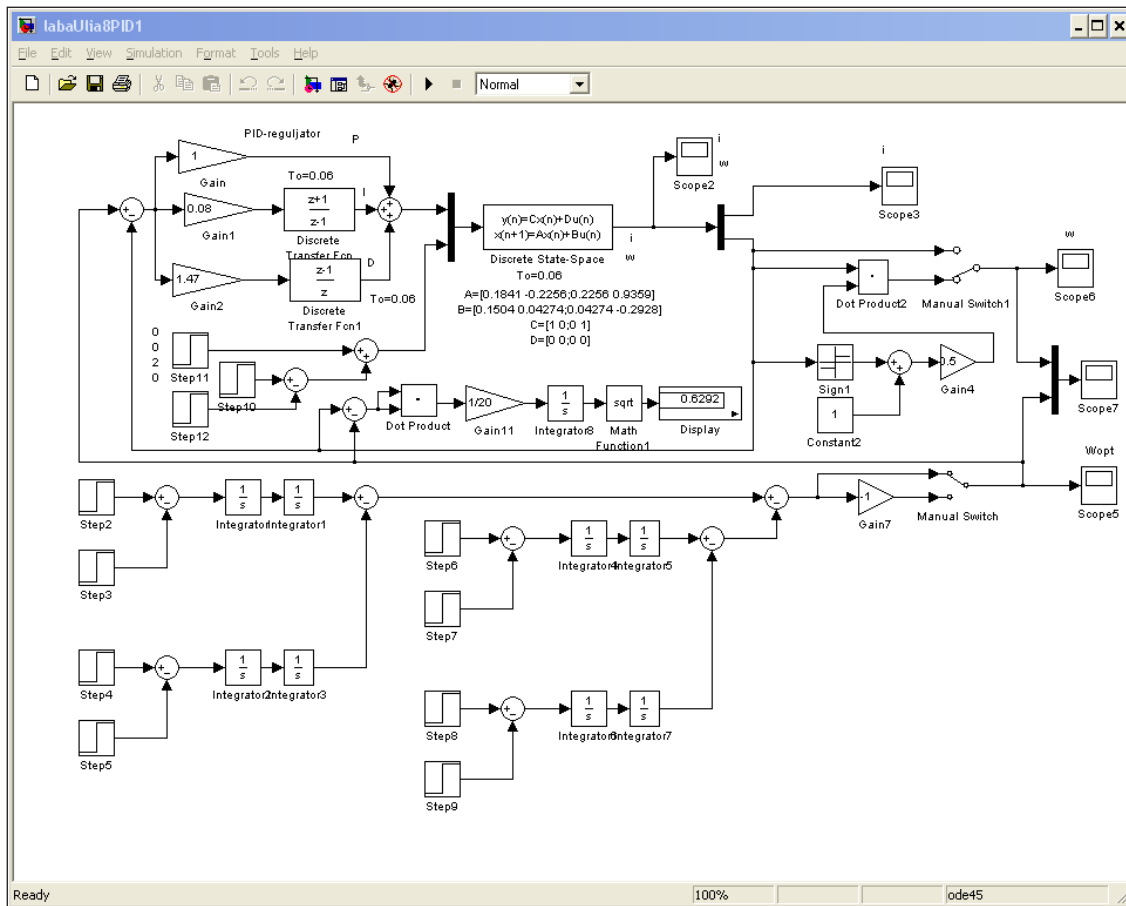


Рис. 1. Структурна схема комп'ютерної дискретної ЛПІ-моделі приводу ВТЗ із ЦПД-регулятором

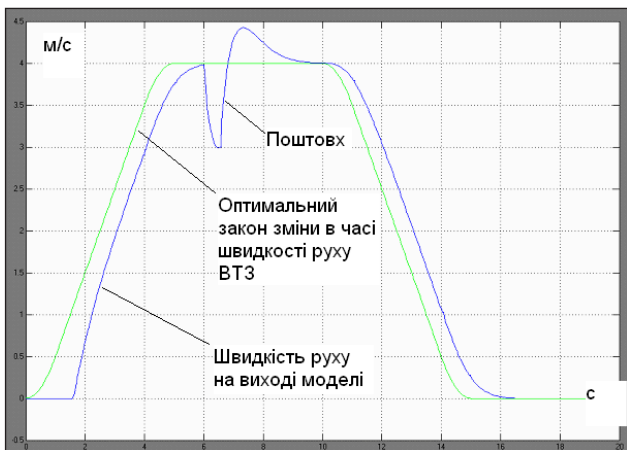


Рис. 2. Графічна ілюстрація впливу поштовхового збурення на швидкість руху ВТЗ вгору, якщо ця швидкість регулюється ЦПД-регулятором

2. За допомогою функції `s2d(.)` будемо комп'ютерну дискретну ЛПІ-модель приводу ВТЗ:

$$A_d = \begin{bmatrix} 0.1841 & -0.2256 \\ 0.2256 & 0.9359 \end{bmatrix}, B_d = \begin{bmatrix} 0.1504 & 0.04274 \\ 0.04274 & -0.2928 \end{bmatrix}, C_d = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D_d = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

за умови, що період дискретизації за часом $T_0=0.06$ с.

3. Використовуючи методику Зіглера-Ніколса, налаштуємо ЦПД-регулятор (див. рис. 1, 2).

4. Виконаємо корекцію динамічних властивостей приводу шляхом синтезу матриці коефіцієнтів корегуючого зворотного зв'язку методом бажаного характеристичного рівняння:

$$B1 = [0.1504; 0.04274];$$

$$K05b = \text{acker}(A, B1, [0.5 \ 0.5]);$$

$$K05b = [0.1915 \ 2.1337].$$

Переналаштуємо за методикою Зіглера-Ніколса параметри ЦПД-регулятора для привода із зкорегованими динамічними характеристиками і виконаємо моделювання (див. рис. 3, 4)

5. Виконуємо розрахунок матричного коефіцієнту підсилення спостерігача Льюїнбергера:

$$C = [1 \ 0], \text{ означає - вимірюється струм якоря.}$$

$$\text{Тоді } NT = \text{acker}(A', C', [0.5 \ 0.5]); NT = [0.1200 \ -0.6166];$$

$$H05 = NT'; H05 = [0.1200; -0.6166].$$

Результати моделювання представлені на рис. 5 та 6.

Висновок. Цифровий алгоритм квазіінваріантного управління швидкістю вертикального транспортного засобу сконструйовано із вико-

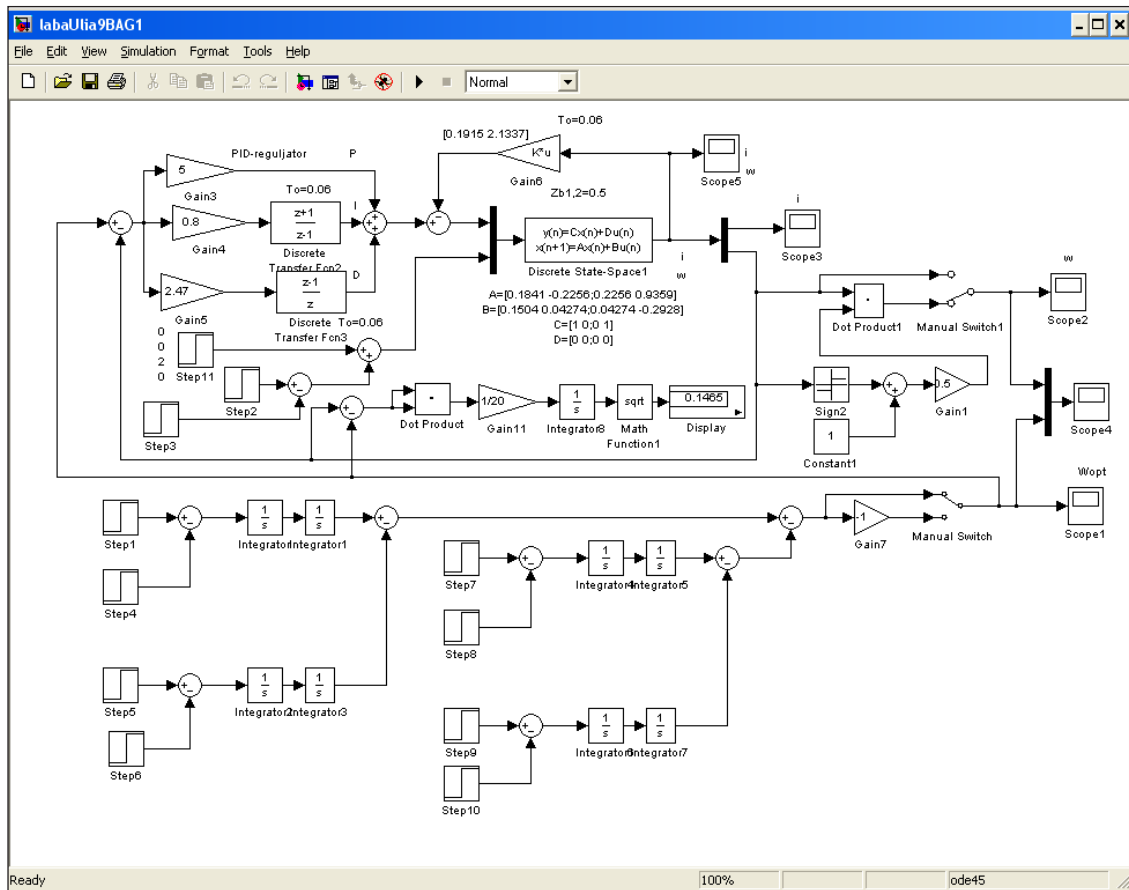


Рис. 3. Структурна схема комп'ютерної дискретної ЛТІ-моделі приводу ВТЗ із ЦПД-регулятором та алгоритмом корекції його динамічних характеристик

ристанням трьох цифрових алгоритмів: пропорційно-диференціального регулятора; регулятора, що корегує динамічні властивості приводу; аналітичного вимірювача швидкості переміщення ВТЗ.

Сумісне використання цих трьох алгоритмів дозволяє в 3-4 рази зменшити середньоквадратичну помилку стеження за оптимальним законом руху ВТЗ, яка викликана поштовховою збурюючою дією. Тобто стає обґрунтованим і можливим для практичної реалізації застосування лише алгоритмічного способу покращення динамічних властивостей ВТЗ, який не потребує використання додаткового обладнання.

Подальшим напрямом досліджень слід вважати конструювання квазіадаптивного алгоритму управління приводом ВТЗ для великих швидкостей підйому, який, окрім поштовхового впливу, зменшує ще й і вібраційне навантаження на ВТЗ.

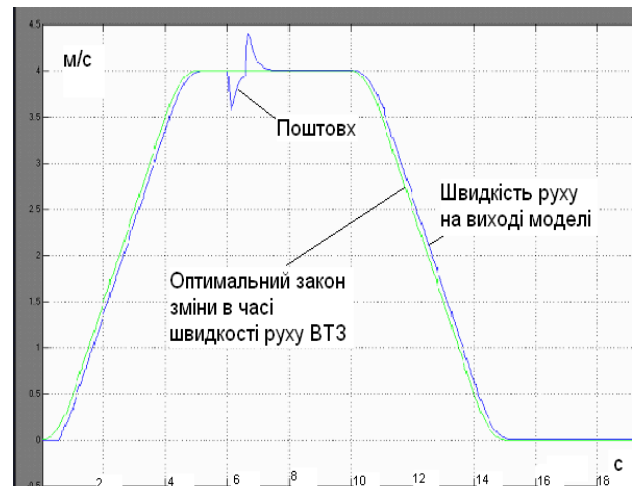


Рис. 4. Графічна ілюстрація впливу поштовхового збурення на швидкість руху ВТЗ вгору, якщо ця швидкість регулюється ЦПД-регулятором, який налаштовано на привід із алгоритмом корекції його динамічних характеристик

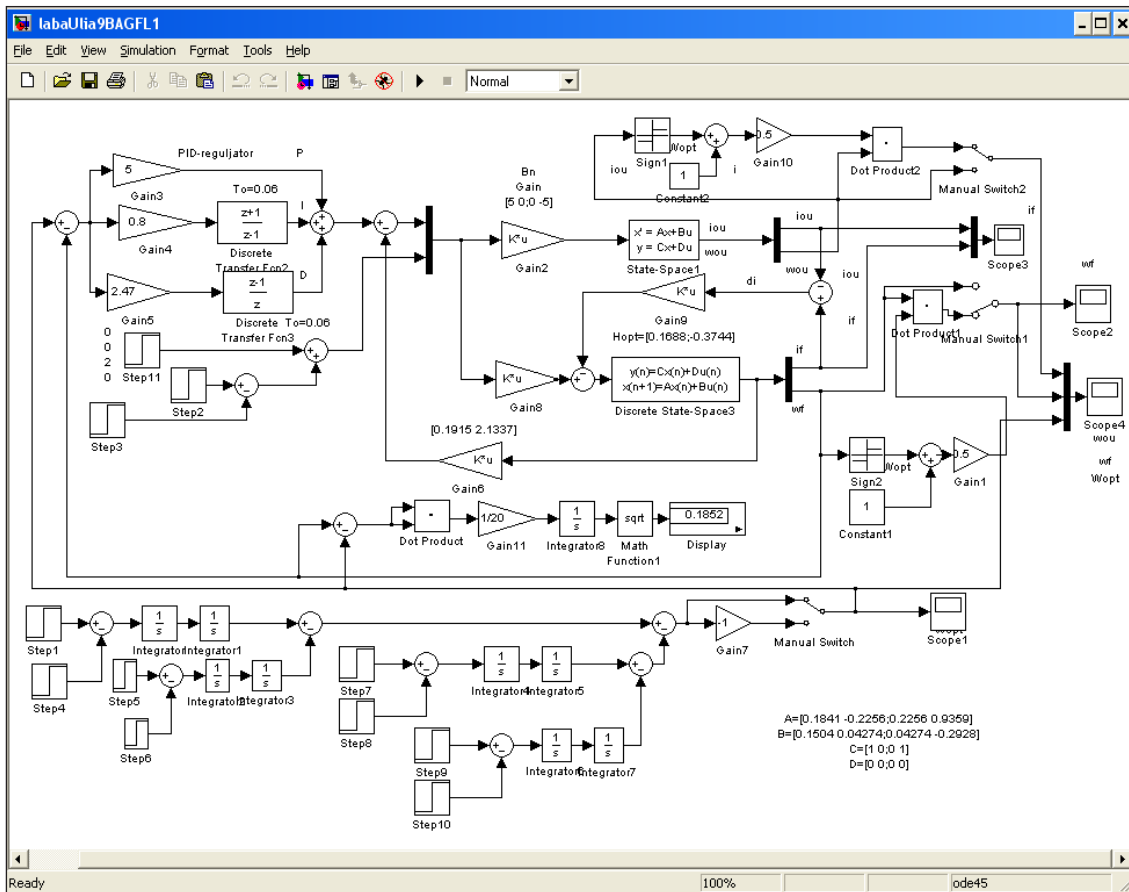


Рис. 5. Структурна схема комп'ютерної дискретної ЛПІ-моделі приводу ВТЗ із алгоритмом квазіінваріантного управління цим приводом (ЦПІД-регулятор, алгоритм корекції динамічних характеристик приводом, спостерігач Льюїнбергера)

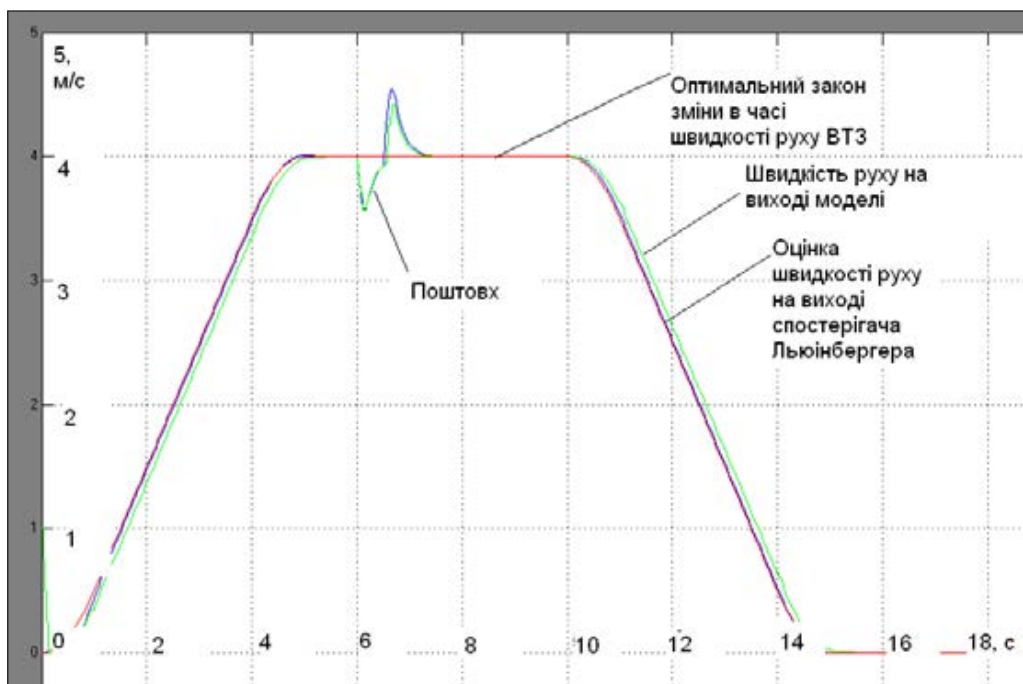


Рис. 6. Графічна ілюстрація впливу поштовхового збурення на швидкість руху ВТЗ вгору, якщо ця швидкість регулюється алгоритмом квазіінваріантного управління

Список літератури:

1. Андриющенко О.А., Булгар В.В., Пассажирский лифт как электромеханическая система. Перспективы и проблемы совершенствования энергетических показателей. *Подъемные сооружения. Специальная техника*. 2010. №2. С. 23–28.
2. Бойко А.А., Влияние номинальной скорости кабины на производительность пассажирских лифтов. Одесса : Интерпринт, 2013. С. 38–43.
3. Вальков В.М., Вершин В.Е. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Львів : Политехника, 1991. 269 с.
4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: Учебное пособие. Санкт-Петербург : КОРОНА Принт, 2001. 320 с.
5. Джина Барни. Эффективность использования энергии в лифтах – предложение по классификации с точки зрения потребления энергии. *Лифт*. 2010. № 5. С. 25–29.
6. Ефимова О.Н, Кантарбаев У.Р. Энергосберегающие мероприятия в лифтовых установках. *Журнал «Поиск»*, 2015 г.
7. Жолудев И.С. Безредукторный лифтовой привод. *Лифтинформ*. 2008. №10 (133). С. 75–79

**АЛГОРИТМ КВАЗИИНВАРИАНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА В РЕЖИМЕ
СРЕДНЕСКОРОСТНОГО ПОДЪЁМА**

Предлагается алгоритм квазиинвариантного управления (АКУ), который позволяет уменьшить величину толчкового влияния на скорость прессования вертикального транспортного средства. АКУ не требует использования специальных управляемых роликов, измерителя величины толчка и системы управления роликами.

Ключевые слова: цифровое управление, компьютерное моделирование, алгоритм управления, инвариантные системы, адаптивные системы, динамические системы, конструирование регуляторов, наблюдатели состояния.

**ALGORITHM OF QUASI-INVARIANT CONTROL OF ELECTRIC
DRIVE OF VERTICAL VEHICLE IN THE MODE OF MEDIUM-SPEED RISE**

An algorithm for quasi-invariant control (QIC) is proposed, which allows reducing the magnitude of the jogging effect on the pressing speed of a vertical vehicle. QIC does not require the use of special controlled rollers, a measure of the magnitude of the push and the control system of the rollers.

Key words: digital control, computer simulation, control algorithm, invariant systems, adaptive systems, dynamic systems, design of regulators, state observers.

УДК 629.113

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/29>**Редчиц В.В.**

Филиал Классического частного университета в городе Кременчуг

Головина Е.В.

Филиал Классического частного университета в городе Кременчуг

Редчиц С.В.

Филиал Классического частного университета в городе Кременчуг

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ АВТОКОЛЕБАНИЙ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС АВТОМОБИЛЯ

Учтено комплексное силовое воздействие моментов, образующихся от наличия углов установки управляемых колес и от действия внешней боковой силы при исследовании автоколебаний управляемых колес автомобиля с помощью математической модели построенной на взаимосвязи трех теорий качения пневматической шины: теории увода, теории М.В. Келдыша и угловой деформации шин. Предложена замена сложной колебательной схемы управляемых колес автомобилей с неголономными связями простейшей колебательной схемой математического и физического маятников. Благодаря этому стало возможным установление взаимосвязи между характеристиками колебаний и моментами, образуемыми в контактной отпечатке шины управляемого колеса, что в свою очередь позволит провести анализ влияния деформаций шины на выходные характеристики колебаний управляемых колес. Также было установлено, что на устойчивость системы особенно влияет момент, образуемый от продольного наклона шкворня. Именно он приводит ее в неустойчивое положение, даже при действии малой внешней силы. Таким образом, можно утверждать, что предложенную математическую модель, составленную с учетом приведения сложной схемы колебаний к более простой схеме маятников, можно использовать для решения определенных задач в исследовании «шимми» управляемых колес.

Ключевые слова: автоколебания, управляемые колеса, углы установки, математический и физический маятники, период колебаний, частота колебаний.

Постановка проблемы. Во время движения автомобиля, наряду с угловым движением вокруг оси поворота, вертикальная и боковая эластичность шины обеспечивает дополнительную степень свободы движения. Такая связь может привести к колебательной неустойчивости установившегося прямолинейного движения – «шимми».

Причиной возникновения таких колебаний может быть: кинематическая схема рулевого управления, наличие воздуха в системе, наличие продольного наклона шкворня, наличие длинных податливых резиновых шлангов в системе рулевого управления, дисбаланс управляемых колес, кинематика подвески, упругость деталей рулевого управления и зазоры в шарнирах привода рулевого управления. Согласно работе [1], в исследованиях и инженерных расчетах учет свойств шины, из-за сложности процессов, происходящих в ней, как правило, сводится к моделированию шины, т.е. к простому и адекватному описанию поведения упругого тела шины методами математического моделирования. Сочетать простоту и адекватность

удается только для отдельных режимов, что существенно ограничивает возможности моделирования динамических систем, которые включают в себя колеса с шиной (таких как автомобиль). Поэтому, замена сложной колебательной схемы управляемых колес автомобилей с неголономными связями на простейшую схему, предлагаемую авторами, следует считать актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. «Шимми» не только ухудшает управляемость, но и может привести к ее потере. В связи с этим многие исследователи пытались проанализировать и описать это явление. Первые, наиболее значимые в этой области работы [2–9]. Именно эти ученые ввели понятия «гироскопического шимми» (за основной фактор, вызывающий «шимми» принималась гироскопическая связь между угловыми движениями вокруг продольной оси и оси вращения колеса) и «шинного шимми» (автоколебания вызваны способностью шины к деформации). В общем комплексе теоретических исследований контакта между шиной и дорогой, можно различить две основные группы. Первая группа исследо-

вателей рассматривает устойчивое (установившееся движение) состояние катящегося тела. В этом случае тело движется таким образом, что скорость увода (проскальзывания) в направлении качения и перпендикулярно к нему постоянна, в то время как в некоторых случаях может быть постоянной также скорость поворота. Вторая группа исследователей изучает неустановившийся режим шины. В этом случае боковой увод (проскальзывание) и угловое движение могут изменяться во времени, в большинстве случаев рассматриваются синусоидальные изменения.

Среди современных исследований автоколебаний колеса выделяются работы [1; 10–12]. Авторы [11] считают причиной возникновения «шимми» сухое трение и доказывают возможность появления «шимми» стойки шасси с абсолютно жестким колесом. В работе [10] предложена версия модели Бидермана-Шумаева для расчета боковых и угловых колебаний катящего пневматического колеса вблизи ненулевого основного угла увода, допускающего учет малых скольжений беговой поверхности шины. На наш взгляд, интересна работа [12], где представлена наиболее полная картина состояния теории «шимми». Автор охарактеризовал основные особенности моделей «шимми» колеса и на основе анализа сформулировал предложения по совершенствованию теории «шимми» применительно к высокочастотным колебаниям колес.

Во всем многообразии теорий, методов изучения, подходов не было учтено комплексное силовое воздействие многих моментов, образующихся от наличия углов установки управляемых колес и от действия внешней боковой силы. Поэтому, есть причина считать целесообразным дальнейшее исследование автоколебаний управляемых колес автомобиля с учетом перечисленных факторов.

Постановка задачи. Целью исследования является разработка математической модели автоколебаний управляемых колес автомобиля с учетом комплексного воздействия отдельных силовых факторов.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи:

- обосновано наличие комплекса моментов в контактном отпечатке шины при автоколебаниях;
- установлена конструктивная причина возникновения автоколебаний;
- установлено влияние деформации шины на показатели автоколебаний.

Изложение основного материала исследования. Опыт создания автомобилей семейства КрАЗ

показывает, что явление «шимми» появляется на тех автомобилях, где большие углы продольного наклона шкворня управляемых колес. При этом весовой момент M_β становится не стабилизирующим, а дестабилизирующим. Максимальная величина его достигается при прямолинейном положении отдельно взятого управляемого колеса (угол поворота колеса $\theta_i = 0$) и определяется, [13, с. 47]:

$$M_\beta = \frac{R_z}{\pi} \cdot a \cdot \sin 2\beta \cdot (1 - \sin \theta_i) \quad (1)$$

где R_z – нагрузка на управляемое колесо;
 a – размер продольной оси контактного отпечатка шины;

θ_i – угол поворота управляемого колеса от положения прямолинейного движения.

При движении по опорной поверхности возникает случайная небольшая возмущающая боковая сила (различной природы), которая совместно с весовым моментом M_β отклоняет управляемое колесо на угол ψ_i в пределах упругих деформаций и зазоров в соединениях деталей рулевого управления. При этом рулевое колесо остается в положении прямолинейного движения. Так как автомобиль какое-то время продолжает двигаться прямолинейно, то образуется плечо λ (рис. 1), где от условной силы сопротивления прямолинейному движению образуется момент:

$$M_f = R_z \cdot f \cdot \lambda = R_z \cdot f \cdot l \cdot \sin \psi_i, \quad (3)$$

где R_z – вертикальная нагрузка на колесо;
 f – коэффициент сопротивления прямолинейному качению;

l – длина цапфы (расстояние от точки пересечения оси шкворня с передней осью до вертикальной плоскости середины колеса).

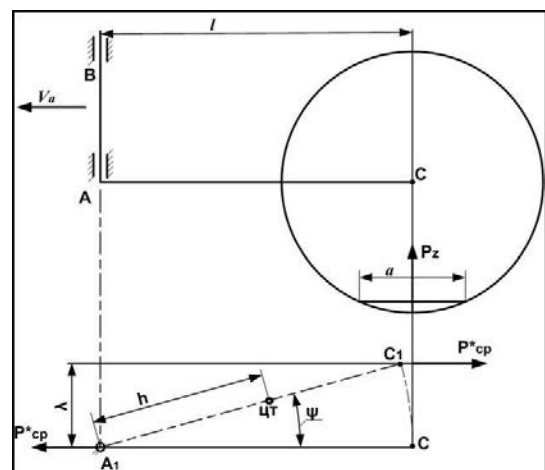


Рис. 1. Схема колебаний управляемого колеса

Установленная взаимосвязь между теорией увода, теорией М.В. Келдыша и угловой

деформацией шины ([15, с. 45]) позволяет определить момент, образуемый от движения средней линии шины по криволинейной траектории:

$$M_{\lambda} = C_{\omega} \cdot \theta_{\lambda}. \quad (4)$$

От действия случайной боковой силы и весового момента M_{β} плоскость обода колес с цапфой отклоняется на угол ψ_i относительно направления прямолинейного движения, образуя момент в контактном отпечатке. Природа образования угла ψ_i отличается от угла поворота управляемого колеса θ . Но так как оба эти угла приводят к отклонению плоскости управляемого колеса от положения прямолинейного движения, можно утверждать равенство этих углов $\psi_i = \theta_i$. Момент, образуемый при отклонении колеса на угол ψ_i в контактном отпечатке, [13, с. 124]:

$$M_{\psi} = C_{\omega} \cdot \psi_i \quad (5)$$

При наклоне плоскости обода колеса к вертикальной плоскости (угол развала) на угол γ в контактном отпечатке образуется момент [13, с. 221; 14]:

$$-M_{\gamma} = C_{\omega} \cdot \theta_{\gamma}, \quad (6)$$

где θ_{γ} – угол увода, возникающий из-за развала управляемых колес.

От угла схождения управляемых колес момент сопротивления в контактном отпечатке, согласно [13, с. 221; 14] равен:

$$M_{\alpha} = C_{\omega} \cdot \alpha_{\alpha}. \quad (7)$$

При автоколебаниях управляемых колес происходит интенсивный износ беговой дорожки шины. Такой износ возможен только при скольжении элементов отпечатка по опорной поверхности, а не за счет упругих деформаций. Определить точно величину (часть) момента трения скольжения (сцепления) ΔM_{ϕ} в любой момент времени не представляется возможным. Однако, максимальное значение момента M_{ϕ} определяется с достаточной точностью (1...2%) для инженерных расчетов ([13, с. 101]), с учетом смещения центра поворота отпечатка относительно его геометрического центра за счет углов наклона шкворня.

Поэтому, если допустить (условно), что во всем интервале угла отклонения УК при автоколебаниях момент трения скольжения равен максимальному, тогда этот момент можно учесть при составлении дифференциального уравнения с неголономными связями. Объективность принятого допущения можно будет проверить по выходным параметрам колебаний.

Таким образом, в контактном отпечатке будут действовать моменты:

$$\sum_1^7 M = -M_{\beta} + M_f + M_{\lambda} + M_{\psi} \pm M_{\gamma} \pm M_{\alpha} - M_{\phi}. \quad (8)$$

Условие равновесия моментов в контактном отпечатке пневматической шины, при котором должны гаситься колебания относительно вертикальной оси шкворня в пределах угла отклонения управляемого колеса ψ :

$$\sum_1^7 M = M_{Tp}, \quad (10)$$

где M_{Tp} – суммарный момент трения (демпфирования), создаваемый конструктивным способом (механическим или гидравлическим) и моментом трения в шкворне.

При $M_{Tp} < \sum_1^7 M$ могут возникать незатухающие колебания от воздействия случайной внешней силы при данной кинематической схеме (рис. 1). Дифференциальное уравнение движения (поворота) управляемого одиночного колеса относительно вертикальной оси шкворня «АВ» (рис. 1):

$$\ddot{\psi} \cdot J_A = \sum_1^7 M - M_{Tp}, \quad (11)$$

где J_A – момент инерции колеса с цапфой, ступицей и других деталей относительно оси «АВ» (рис. 1).

Решение уравнения (11) в таком виде затруднено, поэтому, не искажая физического процесса и величин деформаций, схема колебаний управляемых колес приведена к схеме, которая дает возможность решить уравнение (11), определив все параметры колебаний.

Вид горизонтальной проекции (рис. 1) напоминает колебательную схему математического и физического маятников со следующими отличиями:

1. Колебания колеса с цапфой происходят в горизонтальной плоскости, которую виртуально можно повернуть до совпадения с вертикальной, так как все моменты действуют только в плоскости контактного отпечатка шины (горизонтальной).

2. В дифференциальное уравнение колебаний математического и физического маятников

$$\ddot{\psi} = -\frac{m \cdot g \cdot h}{J_0} \cdot \sin \psi$$

и в уравнение периода колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_0}{G \cdot h}}$$

входит постоянная сила – сила веса $G = m \cdot g$ [16, с. 407; 17, с. 154].

В рассматриваемом случае, суммарный момент M можно заменить парой сил P_{cp}^* на плече λ , (рис. 1). Одна составляющая пары сил от момента M_{cp} приложена в точке C_1 и параллельна (АС), а вторая в точке A_1 и параллельна (А₁С). Тождественность схемы колебаний управляемых колес и дифференциального уравнения со схемой и уравнением маятников обеспечит (виртуально) постоянство силы P_{cp}^* на плече λ во всем диапазоне угла

ψ . Сила P_{cp}^* в точке C_1 будет стремиться возвратить колесо с цапфой в положение прямолинейного движения как в маятнике сила тяжести « $m \cdot g$ ».

При угле ψ_{max} отклонения колеса с цапфой от положения равновесия от действия случайной внешней боковой силы, система моментов и сил в контактном отпечатке на мгновение уравновесится согласно условию равновесия (10). В этом положении система колеса с цапфой обладает запасом энергии в виде суммы моментов (8). При таких условиях система колеса подобна математическому и физическому маятникам.

С учетом силы P_{cp} тождественное уравнению маятника уравнение колебаний одного управляемого колеса примет вид, [16, с. 407]:

$$\ddot{\psi} = -\frac{P_{cp} \cdot h}{J_A} \cdot \sin \psi, \quad (12)$$

где h – расстояние от центра тяжести системы колесо-цапфа до точки « A_1 »;

J_A – момент инерции системы относительно точки « A ».

Среднее постоянное значение составляющей пары сил от момента M_{cp} на угле ψ_{max} :

$$P_{cp} = \frac{M_{cp}}{\lambda_{max}}; \lambda_{max} = l \cdot \sin \psi_{max} \quad (13)$$

где M_{cp} – среднее постоянное значение суммарного момента, действующего в пятне контакта управляемого колеса с учетом момента трения $M_{тр}$ и момента трения скольжения $M_{ф}$. Для одного колеса:

$$M_{cp} = \frac{\sum_1^n \sum_1^6 M - M_{\phi}}{n} - M_{тр} \quad (14)$$

На выходные характеристики колебаний влияет инертность ведомого звена, в рассматриваемом примере – левого колеса. С учетом этого влияния уравнение системы колебаний из двух колес и рулевой трапеции принимает вид:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_A + J_{левA}}{P_{cp}^* \cdot l}}. \quad (15)$$

Уравнения (13) и (14) примут вид:

$$M_{cp}^* = \frac{\sum_1^n \sum_1^6 M - M_{\phi} - u \cdot M_{\phi}}{n} - M_{тр}, \quad (16)$$

$$P_{cp}^* = \frac{M_{cp}^*}{\lambda_{max}}. \quad (17)$$

Дифференциальное уравнение (11) является уравнением с неголономными связями. Для его решения было принято:

1. для первого приближения максимально возможное отклонение управляемого колеса от положения прямолинейного движения на угол $\psi_{max}=2-3^\circ$;

2. длина цапфы l по данным конструкции моста;

3. сумма моментов в правой части уравнения (8) заменена парой силой с приложением их в плоскости качания колеса с цапфой с плечом $\lambda = l \cdot \sin \psi$ в точках оговоренных выше.

Для исследований автоколебаний были использованы данные по полноприводному автомобилю 6×6 семейства КраЗ-255Б и результаты эксперимента с ним. Параметры колебаний определялись при условии: шины 1300×530-533, модель ВИ-3 с радиусом колеса $r_k = 600$ мм; массой колеса с тормозным барабаном и с цапфой $m = 416$ кг, $R_z = 26500$ Н; угловая жесткость шины $C_{\omega} = 260$ Н·м/град; момент инерции $J_z = 33,3$ кг·м²; $l = 232$ мм, (рис. 1); угол продольного наклона шкворня $\beta = 5^\circ$; угол поперечного наклона шкворня $\alpha_{ш} = 9,5^\circ$; угол развала $\gamma = -0,75^\circ$; угол схождения $\alpha_{сх} = 0,3^\circ$, коэффициент сопротивления $f = 0,02$. Отпечаток шины имеет форму круга диаметром $d = 270$ мм. Для расчетов было принято $\Delta\psi=6$ мин и $a_{np} = 338$ мм, [13, с. 105].

Результаты определения моментов, действующих в пятне контакта во время отклонения колеса до максимального угла $\psi_{max} = 2^\circ$ и динамика их изменения, показаны на рис.2.

Хотелось бы обратить внимание на долю каждого момента, действующего на колесо, в суммарном моменте, особенно на величину момента от продольного наклона шкворня M_{β} . Очевидно, что именно этот момент будет приводить систему в неустойчивое положение даже при действии малой внешней силы. Также выделяется на графике небольшая величина момента от условной силы сопротивления прямолинейному движению M_f и момента от развала M_{γ} . Возможно, этими моментами можно пренебречь при определении характеристик автоколебаний колес автомобиля.

Реальность образования момента M_{ψ} при автоколебаниях подтверждается через время запаздывания реакции автомобиля (поворот продольной оси) t_3 на поворот управляемых колес.

В соответствии с работой [13 с. 306], время запаздывания определяется:

$$t_3 = \frac{a + 2V_A \cdot \Delta t}{V_A} t_{3z} = (a + 2V_A \cdot \Delta t) / V_A, \quad (18)$$

где V_A $V_{_A}$ – скорость центра колеса;

Δt – промежуток времени в течении, которого рассматривается неустановившейся процесс поворота.

9. Келдыш, М.В. Шимми переднего колеса трехколесного шасси. *Труды ЦАГИ*. 1945. № 564. С. 1–34.
10. Шифрин Б.М. Сопоставление моделей трения на шине при ее колебаниях. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. Вип. 40. Ч. II. С. 139–150.
11. Журавлев В.Ф., Климов Д.М. Теория явления шимми. *Известия РАН*. 2010. № 3. С. 22–29.
12. Загордан. А.А. Современное состояние теории шимми. *Электронный журнал «Труды МАИ»*. 2011. Т. 47. № 5. С. 2. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=26675> (дата обращения: 12.11.2018).
13. Редчиц В.В., Рудасьов В.Б., Головина О.В., Коробочка О.М. Проектування рульових керувань колісних машин. Дніпродзержинськ, 2014. 404 с.
14. Редчиц В.В. О явлении относительного поворота контактного отпечатка движущегося колеса. *Автомобильная промышленность*. 1974. № 3. С. 28–30.
15. Редчиц В.В., Головина Е.В., Редчиц С.В. Моделирование криволинейного движения автопоездов. Кременчуг, 2017. 198 с.
16. Справочник машиностроителя : в 4 т. / под редакцией Н.С. Ачеркана. Москва, 1961. Т. I. 592 с.
17. Павловский М.А., Путята Т.В. Теоретическая механика. Киев : Высшая школа, 1985. 328 с.

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ АВТОКОЛИВАНЬ КЕРОВАНИХ КОЛІС АВТОМОБІЛЯ

Враховано комплексна силова дія моментів, які виникають від наявності кутів установки керованих коліс і від дії зовнішньої бокової сили при дослідженні автоколиваний керованих коліс автомобіля за допомогою математичної моделі побудованої на взаємозв'язку трьох теорій кочення пневматичної шини: теорії відведення, теорії М.В. Келдыша і кутової деформації шин. Запропоновано заміну складної коливальної схеми керованих коліс автомобілів з неголономними зв'язками найпростішої коливальної схеми математичного і фізичного маятників. Завдяки цьому стало можливим встановлення взаємозв'язку між характеристиками коливань і моментами, утвореними в контактному відбитку шини керованого колеса, що, у свою чергу, дасть змогу провести аналіз впливу деформацій шини на вихідні характеристики коливань керованих коліс. Також було встановлено, що на стійкість системи особливо впливає момент, утворений від позадвожнього нахилу шворня. Саме він приводить її в нестійке становище, навіть при дії малої зовнішньої сили. Отже, можна стверджувати, що запропоновану математичну модель, складену з урахуванням приведення складної схеми коливань до більш простою схемою маятників, можна використовувати для вирішення певних завдань в дослідженні «шимми» керованих коліс.

Ключові слова: автоколивання, керовані колеса, кути установки, математичний і фізичний маятники, період коливань, частота коливань.

VEHICLE WHEELS OF CONTROL SELF VIBRATION MODEL IMPROVEMENT

Torque complex force effect generated from wheels of control installation angle and action of external lateral force were considered whilst researching steering wheels self vibration by means of math model based on the interdependencies of three following pneumatic tyres rolling theories: breakaway theory, M. Keldysh theory and tyres side deflection theory. It was suggested to substitute self vibration wheels of control with nonholonomic constraints. Thus, possibly, the analysis of tyres deflection impact on the wheels of control self vibration output characteristics the to be conducted. It was also identified that system stability being highly affected by the torque generated from the caster. That is what makes it unstable even with the small action of external force. Thus, it can be stipulated that math model suggested, based on reduction of a complex oscillation scheme to a simpler pendulum scheme can be applied to resolve certain tasks whilst researching wobbling of the wheels of control.

Key words: self-oscillations, wheels of control, installation angles, mathematical and physical pendulums, oscillation period, oscillation frequency.

УДК 625.42:331.45:614.8
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/30>

Сторож Я.Б.

Державна установа
«Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці»

Чумакова Н.В.

Комунальне підприємство «Київський метрополітен»

ОЦІНКА ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ ЖИТТЯ ТА ЗДОРОВ'Я ПРАЦІВНИКІВ МЕТРОПОЛІТЕНІВ

У статті розглянуто основні нормативні вимоги щодо оцінки та управління професійними ризиками для працівників. На основі досліджень розроблена процедура (методика) ідентифікації небезпек, оцінки та управління ризиками для життя і здоров'я працівників. Представлені розрахунки величини ризику для життя та здоров'я працівників на основі наданих показників. Визначені рівні ризику, критерії належності до них та категорії прийнятності ризику.

Ключові слова: ідентифікація небезпек, оцінка ризиків, метрополітен, життя і здоров'я працівників, управління ризиками.

Постановка проблеми. Метрополітен екологічно чистий, швидкісний і безпечний вид пасажирського транспорту з найбільшою провізною спроможністю, тому в світі спостерігається стала тенденція до його розвитку і зростання ролі в загальноміських перевезеннях. Збільшення темпів розвитку Києва, Харкова та Дніпра, чисельності їх населення, приватного легкового автотранспорту, а також відсутність можливості реконструкції вуличної мережі, особливо в центральній частині міст, зумовлює необхідність не тільки розвитку мережі метрополітену та його виробничої бази, а й докорінної зміни організації процесу перевезень з урахуванням позитивного досвіду модернізації метрополітенів великих міст Європи для забезпечення зручного і безпечного транспортного сполучення в умовах міст-мегаполісів.

Для вирішення цих задач залучаються чималі кошти інвесторів, інколи навіть іноземних, адже це пов'язано з поступовим покращенням інвестиційного клімату в державі. Досить часто одним із критеріїв відбору інвестиційного проекту потенційним інвестором є наявність на підприємстві впровадженої і сертифікованої інтегрованої системи управління відповідно до вимог міжнародних стандартів ДСТУ ISO 9001:2015 [1, с. 1–29] (система управління якістю), ДСТУ ISO 14001:2015 [2, с. 1–29] (система екологічного управління), ДСТУ OHSAS 18001:2010 [3, с. 1–19] (система управління гігієною і безпекою праці).

Ефективність прийняття управлінських рішень під час провадження господарської діяльності безпосередньо пов'язана з ризиками різного

характеру – фінансовими, економічними, технологічними, виробничими та професійними, а тому нині масштабного значення набуває впровадження систем ризик-менеджменту на підприємствах України загалом [4, с. 270–271].

ДСТУ 2293:2014 [5, с. 2] визначає термін «ризик» як комбінацію ймовірності заподіяння шкоди і тяжкості цієї шкоди. Серед факторів ризику, яких зазнає сучасна людина, важливе місце посідає ризик втрати здоров'я і працездатності внаслідок трудової діяльності [6, с. 193]. Система управління охороною праці як складова частина загальної системи менеджменту підприємства спрямована на запобігання виробничого травматизму, професійних захворювань та аварій шляхом ідентифікації небезпек, оцінювання та управління ризиками для життя та здоров'я працівників у процесі їх трудової діяльності.

Разом із тим аналіз підходів та методів оцінки та управління ризиками, застосованих на підприємствах України різних видів економічної діяльності, та загалом запровадження ризик-орієнтованих систем управління дає змогу зробити висновок про необхідність розроблення та запровадження процедур оцінки та управління професійними ризиками для життя і здоров'я працівників підприємств електротранспорту, зокрема метрополітенів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вагомий внесок у дослідження питань оцінки та управління ризиками внесли вітчизняні вчені: Г.Г. Гогіташвілі, А.О. Водяник, В.А. Глива, О.І. Запорожець, В.А. Цопа, О.Є. Кружилко, Г.В. Левченко, К.Н. Ткачук, О.А. Гнатюк та інші.

У роботах цих вчених розглянуті наукові засади оцінки та управління ризиками, застосування різних методів ідентифікації небезпек, оцінки та управління професійними ризиками для життя і здоров'я працівників [7–15].

Разом із тим за наявності значної кількості наукових джерел, в яких розглянуто питання ідентифікації небезпек, оцінки та управління ризиками в різних галузях економіки України, практично не порушувались питання оцінки та управління професійними ризиками для життя і здоров'я працівників електротранспорту, зокрема метрополітенів, що потребує більш ґрунтовних досліджень.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз нормативних вимог чинного законодавства та сучасних підходів до оцінки професійного ризику, критеріїв визначення його прийнятності для життя і здоров'я працівників метрополітенів, а також визначення заходів управління цими ризиками. На основі цього основним завданням постає розробка процедури (методики) ідентифікації небезпек, оцінки та управління професійними ризиками для життя і здоров'я працівників метрополітенів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Концепцією реформування системи управління охороною праці в Україні, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. № 989-р [16, с. 89], визначено, що запровадження національної системи запобігання виробничим ризикам, заснованої на принципах усунення небезпек, оцінюванні, контролі ризиків та управлінні ними, є головним механізмом, що застосовується багатьма країнами світу для ефективного і дієвого заохочення до створення безпечних і здорових умов праці як на державному, регіональному, галузевому і місцевому рівні, так і на рівні окремого підприємства і робочого місця. Така система має формуватися відповідно до послідовної ієрархії визначених Директивою Ради № 89/391/ЄЕС [17] таких загальних принципів:

- запобігання ризикам;
- оцінювання ризиків, яких не можна уникнути;
- усунення джерел ризиків;
- адаптація умов праці до працівника, особливо під час облаштування робочих місць, вибору виробничого обладнання, методів роботи, з метою, зокрема, полегшення монотонної роботи та роботи в ритмі, заданому машиною, а також послаблення шкідливого впливу роботи на здоров'я з урахуванням гендерних особливостей;
- адаптація до технічного прогресу;
- заміна устаткування підвищеної небезпеки на безпечне або менш небезпечне;

– розроблення узгодженої загальної політики запобігання виробничим ризикам, що охоплює техніку, організацію праці, умови праці, соціальні відносини та вплив чинників, пов'язаних із виробничим середовищем;

– надання заходам колективного захисту пріоритету перед заходами індивідуального захисту, що використовуються працівником;

– належний інструктаж працівників.

Державний стандарт ДСТУ OHSAS 18001:2010 [3, с. 4–5] визначає необхідність розробляти, впроваджувати та підтримувати в актуальному стані методичку(-и) щодо постійної ідентифікації небезпек, оцінювання ризиків та впровадження необхідних засобів управління. Разом із тим, визначаючи управлінські заходи чи розглядаючи зміни до наявних заходів, треба приділяти увагу зниженню ризиків відповідно до такої ієрархії:

- a) усунення ризику;
- b) заміна одних ризиків іншими;
- c) застосування технічних засобів управління;
- d) застосування знаків, які інформують або попереджують про небезпеку;
- e) застосування засобів індивідуального захисту.

Загалом ідентифікація небезпек та оцінювання ризиків проводиться з метою виявлення та розуміння небезпек, що можуть виникнути у процесі діяльності підприємства, оцінювання ризику для життя та здоров'я працівників, який впливає з конкретної небезпеки, а також запровадження необхідних засобів управління цими ризиками.

Оцінювання ризиків для життя та здоров'я працівників є найбільш ефективним запобіжним заходом, під час якого враховують не тільки ті інциденти, які сталися у минулому, але й небезпеки, які ще не викликали негативних наслідків.

На думку авторів, процедуру проведення ідентифікації небезпек, оцінювання та управління ризиками для життя та здоров'я працівників можна виразити у вигляді алгоритму (рис. 1).

Метою ідентифікації є визначення наявних та потенційних небезпек, факторів, що можуть їх спричинити, кола працівників та інших осіб, які можуть наражатися на ці небезпеки.

Згідно з ДСТУ OHSAS 18001:2010 [3, с. 5–9] вхідними даними для ідентифікації небезпек можуть бути:

- правові та інші вимоги у сфері охорони праці;
- політика та цілі у сфері охорони праці;
- результати проведення моніторингу та вимірювання показників діяльності підприємства у сфері охорони праці;

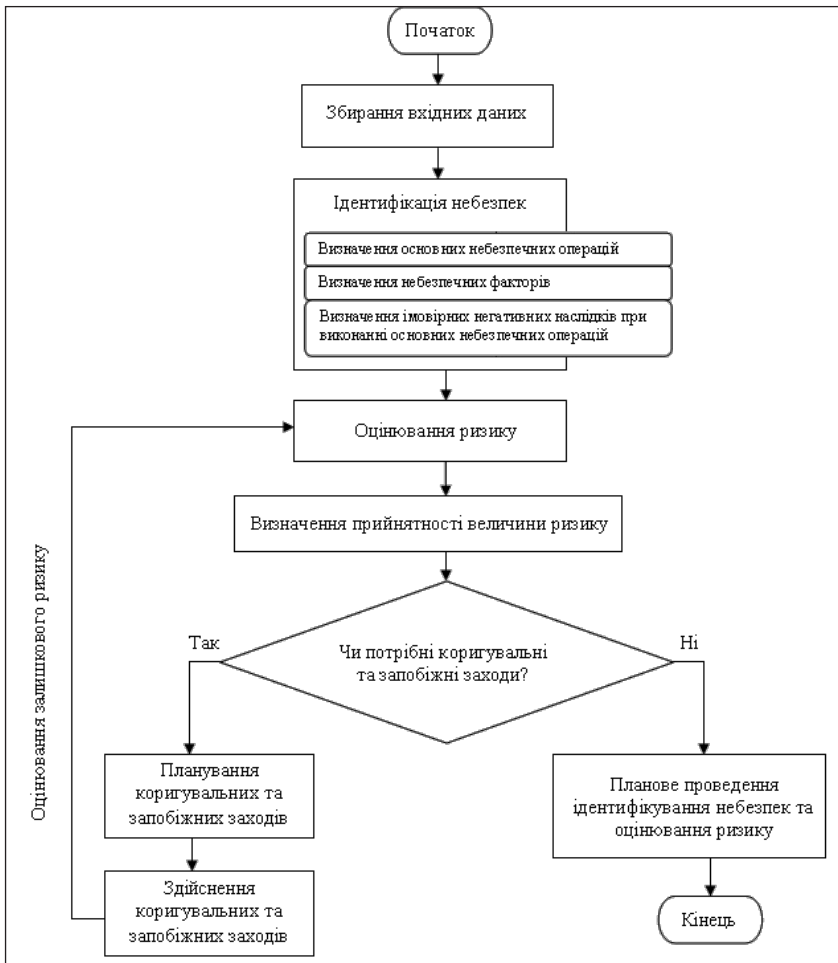


Рис. 1. Процедура проведення ідентифікації небезпек

- результати атестації робочих місць за умовами праці;
- інформація щодо результатів розслідування інцидентів;
- результати внутрішніх аудитів;
- інформація, отримана під час консультацій із працівниками та заінтересованими сторонами;
- відомості щодо організації робочого місця та маршрутів руху;
- інформація про специфіку виконуваних робіт;
- відомості щодо матеріалів та устаткування, що використовується під час роботи.

Разом із цим у процесі проведення ідентифікації небезпек варто враховувати:

- характер виконуваних операцій (основна чи допоміжна виробнича діяльність, постійна чи тимчасова робота, позапланові або нештатні види робіт);
- діяльність усіх осіб, які мають доступ до робочого місця (відвідувачів, підрядників та інших).

Таблиця 1

Перелік (реєстр) ідентифікованих небезпек

Основні небезпечні операції	Небезпечні фактори	Посада (професія) працівників, які наражаються на небезпеку
Служба електропостачання		
Технічне обслуговування та діагностика електронних, електричних та електромеханічних елементів устаткування	Застосування ручного електроінструменту. Небезпечне значення напруги в електричному колі. Підвищення статичної електрики. Гострі і ріжучі робочі кромки слюсарного інструменту, задирки і шорсткість на поверхнях матеріалів, стружка. Частини, що рухаються, обертаються, виробничого устаткування.	Електромеханік
Ескалаторна служба		
Обслуговування механічної частини ескалаторів	Підвищений рівень шуму. Недостатнє освітлення. Падіння/обвалення предметів, устаткування. Значна висота відносно поверхні землі. Струмоведавче устаткування та електричні мережі. Частини, що рухаються, обертаються, виробничого устаткування.	Слюсар з обслуговування та ремонту ескалаторів
Комерційна служба		
Контроль роботи пристроїв пасажирської автоматики	Вузькі місця проходів. Недостатнє/надмірне освітлення. Монотонність праці. Несправність систем автоматики. Протиправні дії сторонніх осіб.	Контролер автоматичних пропускних пунктів метрополітену

Ідентифікацію небезпек доцільно проводити для посад (групи посад) із визначенням основних небезпечних операцій; небезпечних факторів, що можуть виникнути під час виконання основних небезпечних операцій; імовірних негативних наслідків при виконанні основних небезпечних операцій. За результатами ідентифікації небезпек складається зведений Перелік (реєстр) ідентифікованих небезпек. Приклад заповнення такого переліку для працівників метрополітенів наведено у таблиці 1.

Оцінювання ризиків для життя та здоров'я працівників полягає у визначенні величини ризику, властивого будь-якій діяльності (ситуації) на підприємстві, та здійснюється з метою встановлення пріоритетів відносно засобів управління цими ризиками. Оцінювання виконується поетапно: оцінювання базового ризику; оцінювання залишкового ризику.

Враховуючи специфіку діяльності транспортних підприємств (метрополітенів) та результати ідентифікації небезпек, для оцінювання ризиків доцільно використовувати метод експертної оцінки на підставі умовних балів. При цьому величина ризику для життя та здоров'я працівників визначається за формулою (1):

$$P=T \times I \times Ч, \quad (1)$$

де P – величина ризику за посадою, T – показник тяжкості наслідків подій, I – показник імовірності настання нещасного випадку, $Ч$ – показник частоти, з якою працівник стикається з джерелом небезпеки.

Показники T , I та $Ч$ визначаються з таблиць 2–4.

Таблиця 2

Показники тяжкості наслідків подій (T)

Характеристика тяжкості наслідків	Значення (бальна оцінка)
Смерть більше однієї людини	40
Смерть однієї людини	15
Травма з інвалідними наслідками	7
Травма без інвалідного наслідку	3
Мікротравма	1

Таблиця 3

Показники імовірності настання нещасного випадку (I)

Періодичність настання нещасного випадку з певними наслідками	Значення (бальна оцінка)
Один раз на місяць і частіше	10
Один раз на квартал	6
Один раз на півроку	3
Один раз на рік	1
Один раз на 2 роки та менше	0,5
Можлива теоретично	0,1

Результати розрахунку оцінювання ризику для кожної групи посад заносяться до зведеної таблиці 5.

Визначення прийнятності величини ризику для підприємства здійснюється за критеріями прийнятності (таблиця 6).

Таблиця 4

Показники частоти, з якою працівник стикається з джерелом небезпеки ($Ч$)

Періодичність контакту з потенційним джерелом небезпеки	Значення (бальна оцінка)
Постійно протягом зміни	10
Кілька раз протягом зміни	6
Кілька раз на тиждень	3
Кілька раз на місяць	2
Кілька раз на рік	1
Менше одного разу на рік	0,5

Після визначення прийнятності величини ризику встановлюються пріоритети щодо засобів управління цими ризиками.

У разі неприйнятної величини ризику (ризик високого рівня) необхідно вживати невідкладні коригуючі заходи з ліквідації чи зниження (якщо повна ліквідація неможлива) величини ризику. При цьому робота в умовах неприйнятної ризику має бути негайно припинена до моменту його повного усунення або зниження рівня.

У разі граничної величини ризику (ризик середнього рівня) здійснюється планування та проведення необхідних (коригуючих та/або запобіжних) заходів зі зменшення величини ризику.

У разі прийнятної величини ризику (ризик незначного рівня) жодних коригуючих заходів проводити не потрібно. При цьому як запобіжний захід здійснюється періодичний контроль для недопущення зростання його рівня.

Після проведення необхідних коригуючих заходів здійснюється оцінювання залишкового ризику за такою самою процедурою з метою визначення адекватності проведених заходів, потреби в їх поліпшенні чи запровадженні інших. Для кожного наступного оцінювання ризику величина залишкового ризику попереднього оцінювання вже прийматиметься за базовий ризик.

Визначення необхідних засобів управління ризиками проводиться з метою зниження імовірності виникнення інцидентів або потенційної тяжкості їхніх наслідків (збитків від їх настання).

Під час вибору засобів управління ризиками пріоритет надається заходам з усунення ризиків високого рівня та/або суттєвого їх зниження.

Розрахунок ризику настання негативних наслідків певної тяжкості

Ризик		Значення показників			Величина ризику Р	Рівень ризику	Категорія прийнятності
Негативний наслідок	Тяжкість наслідку	T	I	Ч			
Служба електропостачання (електромеханік)							
Ураження електричним струмом	Смерть однієї людини	15	0,1	10	15	Незначний	Прийнятний
	Травма з інвалідними наслідками	7	1		70	Середній	Граничний
	Травма без інвалідного наслідку	3	0,5		15	Незначний	Прийнятний
	Мікротравма	1	10		100	Високий	Неприйнятний
Падіння з висоти	Смерть однієї людини	15	0,1	6	9	Незначний	Прийнятний
	Травма з інвалідними наслідками	7			4,2	Незначний	Прийнятний
	Травма без інвалідного наслідку	3			1,8	Незначний	Прийнятний
Травми під час застосування інструменту	Травма з інвалідними наслідками	7	0,5	6	21	Незначний	Прийнятний
	Травма без інвалідного наслідку	3			9	Незначний	Прийнятний
	Мікротравма	1			3	Незначний	Прийнятний

Таблиця 6

Критерії прийнятності ризику

Величина ризику за посадою	Рівень ризику	Категорія прийнятності
понад 71	Високий	Неприйнятний
31–70	Середній	Граничний
до 30	Незначний	Прийнятний

За результатами ідентифікації небезпек та оцінювання ризиків робоча група проводить планування коригувальних та запобіжних заходів (таблиця 7).

Висновки. У статті розглянуто основні нормативно-правові акти та нормативні документи, що регулюють питання оцінки професійних ризиків у системі управління охороною праці, та за результатами попередніх досліджень розроблена порівняно проста процедура (методика) ідентифікації

небезпек, оцінки та управління ризиками для життя і здоров'я працівників метрополітенів, яка визначає рівні ризику, критерії належності до них та категорії прийнятності ризику.

Задокументовані результати проведення ідентифікації небезпек, оцінки та управління ризиками для життя і здоров'я працівників, проведені за цією процедурою, можна застосовувати під час перегляду політики підприємства у сфері охорони праці, коригування наявних та встановлення нових цілей у сфері охорони праці; регулярного інформування працівників про виявлені небезпеки і пов'язані з ними ризики, а також консультування з працівниками під час визначення необхідних засобів управління цими ризиками, навчання працівників та проведення інструктажів з охорони праці, визначення об'єктів моніторингу та вимірювання, визначення об'єктів операційного контролю.

Таблиця 7

План коригувальних та запобіжних заходів на _____ рік

Основні небезпечні операції	Небезпечні фактори	Імовірні негативні наслідки	Найменування заходу	Термін виконання заходу	Відповідальний виконавець	Ресурси
1	2	3	4	5	6	7

Примітка: інформація для заповнення колонок 1 та 2 береться з Переліку (реєстру) ідентифікованих небезпек (див. таблиця 1). Колонка 3 заповнюється шляхом зведення даних таблиці 5

Список літератури:

1. ДСТУ EN ISO 9001:2018. Системи управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT). Київ, 2018. 40 с.
2. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT). Київ, 2016. 36 с.
3. ДСТУ OHSAS 18001:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). Київ, 2016. 27 с.
4. Кривда О.В. Механізм ризик-менеджменту на українських підприємствах та чинники, що його формують. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2013. № 10. С. 268–273. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukri_2013_10_46 (дата звернення: 05.05.2019).
5. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ, 2014. 14 с.
6. Лис Ю.С. Оцінка ризиків в системі управління охороною праці. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 9. С. 193–196. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2016_9_40 (дата звернення: 19.05.2019).
7. Гогіташвілі Г.Г. Системи управління охороною праці. Львів, 2002. 320 с.
8. Водяник А.О., Ткачук К.Н. Оцінка ризику травмування на виробництві з урахуванням імовірності нещасного випадку та тяжкості його наслідків. *Проблеми охорони праці в Україні* : збірник наукових праць. Київ, 2006. Вип. 11. С. 12–20.
9. Глива В.А., Березуцький В.В., Березуцька Н.Л., Халіль В.В. Аудит ризиків безпеки на робочому місці. *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. № 2(3). С. 12–17. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_2\(3\)_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_2(3)_4) (дата звернення: 19.05.2019).
10. Запорожець О.І. Безпека життєдіяльності / О.І. Запорожець, Б.Д. Халмурадов, В.І. Применко та ін. Київ : ЦУЛ, 2013. 448 с.
11. Цопа В. Ризик-орієнтоване мислення: основи, навчання та впровадження. *Охорона праці*. 2017. № 9. С. 8–15.
12. Кружилко О.Є., Сторож Я.Б., Лютак І.З., Праховнік Н.А. Методичні засади оцінки виробничих ризиків при плануванні профілактичних заходів. *Проблеми охорони праці в Україні* : Збірник наукових праць. Київ, 2017. Вип. 33. С. 15–21.
13. Левченко О.Г., Полукаров Ю.О. Системи менеджмента гигиены и безопасности труда: область применения, требования и оценка рисков. *Сварщик*. 2016. № 02. С. 46–48.
14. Ткачук К.Н., Кружилко О.Є. Прогнозування виробничого травматизму : монографія. Київ : Основа, 2014. 345 с.
15. Гнатюк О.А., Войналович О.В. Професійний ризик на механізованих процесах в агропромисловому комплексі України : монографія. Київ : ЦУЛ, 2016. 278 с.
16. Про схвалення Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні та затвердження плану заходів щодо її реалізації : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. № 989-р / Кабінет Міністрів України. *Офіційний вісник України*. 2018. № 100. С. 89. Ст. 3338.
17. Директива № 89/391/ЄЕС Ради щодо запровадження заходів заохочення поліпшення безпеки та охорони здоров'я працівників на роботі. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/radi-89391.pdf> (дата звернення: 24.05.2019).

**ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ
ДЛЯ ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

В статье рассмотрены основные нормативные требования по оценке и управлению профессиональными рисками для работников. На основе исследований разработана процедура (методика) идентификации опасностей, оценки и управления рисками для жизни и здоровья работников. Представлены расчеты величины риска для жизни и здоровья работников на основе предоставленных показателей. Определены уровни риска, критерии отнесения к ним и категории приемлемости риска.

Ключевые слова: идентификация опасностей, оценка рисков, метрополитен, жизнь и здоровье работников, управление рисками.

**EVALUATION AND MANAGEMENT
OF RISKS TO THE METRO WORKER'S LIVES AND HEALTH**

The article discusses the main regulatory requirements for the assessment and management of professional risks for employees. The paper presents procedure (methodology) for identifying hazards, assessing and managing risks to the life and health of workers. The calculations of the magnitude of the risk to the life and health of workers based on the indicators provided are presented. The risk levels, the criteria for classification and the risk acceptability categories are determined.

Key words: hazard identification, risk assessment, metro, life and health of workers, management of risks.

УДК 629.463.001.63
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/31>

Фомін О.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

Прокопенко П.М.

Державний університет інфраструктури та технологій

Бурлуцький О.В.

Український державний університет залізничного транспорту

Фоміна А.М.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА З МЕТОЮ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Останніми роками відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, у тому числі напіввагонів. Нині у мережі залізниць України перебувають в експлуатації напіввагони (далі – вагони) різних моделей і їхніх модифікацій з нормативним строком служби 22 роки. Для вирішення питання про можливість подальшої експлуатації вагонів з вичерпаним терміном служби проводиться їхнє технічне діагностування. Аналіз технічного стану напіввагонів після проведення планових видів ремонту показує, що значна їх частина перебуває у задовільному стані. Через недостатнє фінансування придбання нових вагонів для забезпечення безперебійного виконання вантажних перевезень залізничним транспортом актуальним залишається проведення робіт з визначення залишкового ресурсу напіввагонів та можливості продовження їх експлуатації в межах України понад полуторний термін.

Ключові слова: залізничний транспорт, вантажний вагон, напіввагон моделі 12-532, рама кузова, хребтова балка, ударні випробування, ресурс, термін служби.

Постановка проблеми. Варто сформувані необхідність проведення контрольних випробувань вагонів, їх технічного діагностування та визначити особливості досліджень. Провести теоретичні дослідження з оцінки залишкового ресурсу конструкції напіввагона. Аналіз технічного стану напіввагонів після проведення планових видів ремонту показує, що значна їх частина перебуває у задовільному стані. Проте можливість продовження їхньої експлуатації на строк понад полуторний потребує експериментального підтвердження.

Аналіз літературних даних. Натепер питанням дослідження несучої здатності кузовів напіввагонів приділено досить уваги, що пояснюється їх актуальністю та економічною обґрунтованістю. Так, у роботі [1] наведено результати досліджень несучої здатності напіввагонів моделі 12-9745. Проте метою таких досліджень було відшукування конструктивних резервів зі зниження матеріалоемності цієї моделі вагонів. І, відповідно, несуча здатність конструкції кузова з імітацією, характерних для 1,5 строку експлуатації зносів, не досліджувалась. У статті [2]

наведено перспективи удосконалення конструкцій напіввагонів, у тому числі і шляхом збільшення строку експлуатації. Однак збільшення строку експлуатації напіввагонів пропонується досягати шляхом удосконалення їхніх конструктивних властивостей, наприклад за рахунок упровадження матеріалів з поліпшеними характеристиками. Аналіз властивостей конструктивних матеріалів кузовів вагонів нового покоління наведений у [3]. У роботі зазначені переваги використання нових прогресивних матеріалів для окремих складових частин конструкцій вагонів. Однак питанням продовження реалізації такого напрямку у разі подовження строку експлуатації напіввагонів не приділено уваги. Заходи щодо удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення надійності його кріплення на палубі залізничного порома наведені у [4; 5]. Розрахунок проведений у середовищі програмного забезпечення MSC Adams. Дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося у разі його вписування у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху. Питання оцінки точності

пропускної спроможності залізничних мереж, що призначені для перевезення сировини та готової продукції гірничо-металургійної промисловості, наведені у [6; 7]. Конструкційні особливості вагона для інтермодальних перевезень розглянуті у [8]. Вагон має понижену середню частину, а наявність оборотної частини дає можливість здійснювати завантаження/вивантаження автотехніки на/з нього самокатом. У роботі [9] наведено результати досліджень з визначення характеру та рівня впливу різних вантажних візків на міцнісні якості несучих систем вагонів. Однак у задачі такого дослідження не включались питання визначення відповідного впливу на кузови, які експлуатуються поза нормований строк. У дослідженнях [10; 11] аналізувались особливості функціонування засобів транспорту. А відповідні дослідження для одиниць з показниками, які відображають експлуатаційний знос, не проведені. Підсумовуючи результати наведеного вище аналізу, можна відзначити, що натепер питання щодо можливостей подовження строку експлуатації несучих конструкцій кузовів вагонів у повному обсязі не вирішувались.

Постановка завдання та мета. Метою роботи є висвітлення особливостей та результатів проведених комплексних випробувань напіввагона, визначення характеристик міцності його несучих конструкцій, їх залишкового ресурсу та можливість подовження строку експлуатації понад полуторний. Завданням типових випробувань на міцність у разі зіткнення є визначення й оцінка динамічних напружень і деформацій у несучих конструкціях вагона під час прикладання нормативних ударних сил через автозчепне обладнання. Завданням випробувань на ресурс є визначення появи і розвиток пошкоджень і залишкових деформацій у несучих конструкціях вагона за багаторазової дії поздовжніх навантажень через автозчепний пристрій. Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено такі задачі, як: вибір дослідного зразка вагона та аналіз його технічного стану; визначення швидкості корозії несучих елементів конструкції вагона; проведення комплексних натурних випробувань напіввагона, що включали оцінку власних частот коливань та контрольні ударні випробування за загальноприйнятою схемою.

Відбір дослідного зразка для досліджень. На випробування був представлений напіввагон моделі 12-532 № 64415821 (рис. 1) з терміном експлуатації, що перевищує полуторний, встановлений заводом-виробником.



Рис. 1. Дослідний напіввагон

Випробовування та діагностування технічного стану вагона були проведені на відповідність їх характеристик вимогам нормативної документації з метою визначення можливого терміну подовження його експлуатації. Під час проведення технічного діагностування вагона особлива увага приділялась несучим елементам конструкції, а саме хребтовій і шворневій балкам та місцям їх з'єднання.

Опис конструкції дослідного зразка напіввагона. Креслення загального виду напіввагона моделі 12-532 наведено на рисунку 1. Цей вагон має сталеву раму, що складається із хребтової балки, звареної із двох спеціальних Z-подібних профілів № 31 (310x9x183x10,5x130x16 мм) і двотавра № 19 (190x75x7 мм), двох шворневих балок замкненого коробчастого перерізу з двох вертикальних листів (товщиною 8 мм), двох горизонтальних листів (верхній товщиною 10 мм і нижній 12 мм), двох кінцевих балок зі штампованого листового профілю, чотирьох проміжних поперечних балок двотаврового перерізу, звареного з вертикального й двох горизонтальних листів.

Кришки розвантажувальних люків мають зварний каркас і обшивку з гофрованого сталевого листа. Ці кришки шарнірно прикріплені до двотавра хребтової балки і мають знизу торсійний механізм для полегшення їх закривання.

Випробування вагона скиданням з клинів. За результатами випробувань «скидання з клинів» визначаються динамічні напруження в елементах рами та надресорній балці вагона. Відповідно до розробленої схеми контрольних точок була виконана установка тензорезисторів на надресорній балці та рамі. Під колеса напіввагона залежно від досліджуваних елементів конструкції вагона встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона з них шляхом його накатування на клин.

Розміри клину становлять: висота 21 мм, довжина 350 мм, ширина 50 мм.



Рис. 2. Місця встановлення тензорезисторів на несучих елементах дослідного напіввагона

Завантажений напіввагон накочується на клини за допомогою локомотива. Клини встановлюються по черзі: під всі колеса вагона (імітація підскакування); під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування); під всі колеса одного візка (імітація галопування); під колеса одного боку вагона (імітація бічної хитавиці).

У разі скидання вагона з клинів залежно від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами візків вагона визначалися величини напружень залежно від виду коливання. Напруження під час випробувань скиданням з клинів та під час ресурсних ударних випробувань вимірювалися за допомогою тензодатчиків, що встановлювалися на елементах рами вагона та надресорній балці його візків (рис. 2).

Визначення міцності напіввагона під час ресурсних ударних випробувань. У разі проведення типових і ресурсних випробувань вагонів на співудар вимірюються такі показники, як: швидкість набігання вагона-бойка; сила удару в автозчеп; кількість циклів до відмови; напруження в елементах вагона, які досліджуються.

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон у момент удару, застосовувався автозчеп-динамометр, обладнаний тензорезисторами і попередньо проградуйований статичним навантаженням на стенді. Автозчеп-

динамометр забезпечував реєстрацію діючих сил у діапазоні 3–3,5 МН.

Випробування на співудар проводилися на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії за допомогою локомотива. Крім локомотива, використовували таке обладнання: вагон-бойок масою 90,1 т; підпірний склад з трьох загальмованих вантажних вагонів загальною масою 300 т, переміщення яких було обмежено рейковими башмаками. Розбіжність між осями автозчепів дослідного вагона і вагона-бойка становила не більш 12 мм. Схему розміщення рухомого складу під час випробувань наведено на рисунку 3.

Обладнання, яке використовувалося для випробувань, засоби вимірювальної техніки і пристрої перебували в технічно справному стані, мали оформлені паспорти і повірочні тавра.

Ресурсні та випробування дослідного напіввагона на співудар виконувалися у такому порядку: завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності; зважування завантаженого вагона; обладнання вагона спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуйованим статичним навантаженням до 3,5 МН; установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, а також пікетів для визначення швидкості накочування вагона-бойка; випробування дослідного вагона на співудар, з проведенням вимірювань напружень у його несучих елементах, швидкості накочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки; огляд стану конструкції вагона після кожних 5 ударів за типових випробувань, а за ресурсних – після 10 ударів.

Співудари проводилися способом накочування вагона-бойка на випробовуваний вагон з допомогою локомотива. Ресурсні випробування виконувалися окремими серіями співударів, що за обсягами ушкоджень, що наносилися, відповідали впливу експлуатаційних динамічних дій на вагон за один рік його експлуатації. Після кожної серії співударів проводилася перевірка технічного стану вагона і його устаткування.

Ударні випробування були проведені з одиночним напіввагоном, який ударявся в групу загаль-

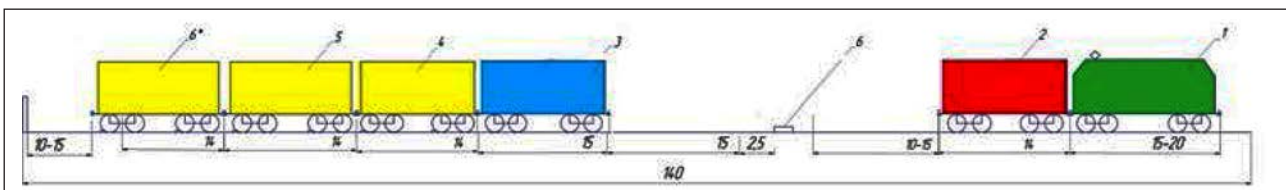


Рис. 3. Розміщення рухомого складу під час випробувань, де: 1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – дослідний напіввагон; 4, 5, 6 – підпірний склад

мованих вагонними башмаками завантажених вагонів, що стояли на прямій ділянці залізничної колії. Завантажений вагон-бойок накочувався на вагон, установлений перед групою вагонів, локомотивом, який відчеплюється від вагона-бойка у разі досягненої ним приблизно заданої швидкості співударяння за GPS модулем.

Визначення залишкового строку служби. Для визначення залишкового строку служби вагона враховувалося вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають у процесі експлуатації. Розрахунок здійснювався за формулою:

$$T_r = \frac{(\frac{\sigma_{aN}}{[n]})^m \cdot N_0}{N_{cl} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I)^m \cdot P_j^I + N_{clII} \cdot \sum_k (\sigma_{ak}^{II})^m \cdot P_k^{II}} \quad (1)$$

де T_r – розрахунковий залишковий строк служби вагона, роки;

σ_{aN} – межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони за симетричного циклу та встановленого режиму навантаження за базового числа циклів, МПа;

m – показник ступеня в рівнянні кривої втоми. Для зварних конструкцій із прокату без зміцнюючої обробки швів згідно з [5] $m=4$;

$[n]$ мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми для вибраної зони вагона, $[n]=1,5$;

N_0 – базове число циклів, $N_0=10^7$;

$N_{cl} N_{clII}$ – число циклів за 1 рік експлуатації для кожного із експлуатаційного навантаження (вертикального та поздовжнього);

$\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$ – амплітуди динамічних напруг, приведені до симетричного циклу для кожного із експлуатаційних навантажень та їх діапазонів, МПа;

P_j – ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{aj} .

$$\sigma_{aN} = \sigma_{aN}^- (1 - Z_p v), \quad (2)$$

де Z_p – квантиль розподілення, що відповідає односторонній ймовірності 95%, $Z_p=1,645$;

v – коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі:

– для зварних рам і балок з листового і фасонного прокату у разі автоматичної зварки під слоєм флюса і всередині захисного газу $v = 0,05$;

– також у разі напівавтоматичної і ручної зварки $v = 0,07$;

σ_{aN}^- – середнє розрахункове значення порогу витривалості рами:

$$\sigma_{aN}^- = \frac{\sigma_{-1}}{(K_{\sigma})_k},$$

σ_{-1} – середнє значення порога витривалості гладкого стандартного зразка із матеріалу рами у разі симетричного циклу згину на базі N_0 .

$(K_{\sigma})_k$ – середнє значення коефіцієнта зниження порога витривалості рами стосовно порога витривалості гладкого стандартного зразка, $(K_{\sigma})_k = 4,5$.

10.3. N_c – кількість циклів вертикальних коливань завантаженого вагона, які виникають за його строк служби один рік:

$$N_c = 365 \cdot f_e \frac{L_c \cdot 0,5 \cdot 10^3}{\bar{v}_T} \cdot T_k; \quad (3)$$

T_k – розрахунковий строк служби вагона;

L_c – проектний середньодобовий пробіг вагона (приймаємо 162 км, за даними ГІОЦ АТ «УЗ»);

\bar{v}_T – проектна середня технічна швидкість руху вагона 22,4 м/с;

0,5 – коефіцієнт порожнього пробігу;

f_e – ефективна частота процесу зміни динамічних навантажень визначається за результатами скидання з клинів або за формулою.

K_{di} – визначається з використанням формули:

$$K_{di} = \frac{\bar{K}_{di}}{\omega} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(K_{di})}}. \quad (4)$$

Середнє можливе значення визначається за формулами:

– При $V \geq 15$ м/с:

$$\bar{K}_{di} = a + 3,6 \cdot 10^4 \cdot b \cdot \frac{V-15}{f_{st}} \quad (5)$$

– При $V \leq 15$ м/с:

$$\bar{K}_{di} = a \cdot \frac{V}{15}, \quad (6)$$

де a – коефіцієнт рівний для елементів кузова – 0,05;

b – коефіцієнт, який враховує вплив кількості осей p у візку або групі візків під одним кінцем екіпажа,

$$b = \frac{n+2}{2n};$$

V – розрахункова швидкість руху, м/с;

f_{st} – статичний прогин ресорного підвищення, м.

Загальна розрахункова кількість циклів протягом розрахункового періоду експлуатації вагона для загальної мережі пробігу визначається за формулою:

$$N_{zag}^{rozr} = N_{zag}^{yd} \cdot T_{rozr} \cdot K_{rez} \cdot K_{yd}, \quad (7)$$

де N_{zag}^{yd} – загальна кількість циклів дії ударних поздовжніх сил за 1 рік середньої мережі експлуатації на конструкцію вагона такого типу, для розподілів (без урахування квазістатичних сил) становить:

– для вантажних вагонів $N_{zag}^{yd} \approx 20200$ циклів;

T_{rozr} – розрахунковий період експлуатації вагона (1 рік);

K_{rez} – коефіцієнт, що враховує вплив порожнього пробігу вагона, в оцінці циклічної довговічності несучих елементів $K_{рез}$, (для вагона зерновоза $K_{нор}=0,39$):

$$K_{rez} = 1 - K_{por} \quad (8)$$

K_{yd} – коефіцієнт, що враховує несиметричність навантаження конструкції вагона по його довжині у разі зіткнень і рівномірності додатку ударних сил до автозчеплення з обох кінців вагона (в оцінці циклічної довговічності елементів консольної частини вагона рекомендується приймати рівним 0,6).

Вибір режиму навантаження здійснюється з урахуванням співвідношення середньодобового пробігу до загальномережевого.

Для напіввагонів для зерна:

$$N_{zag}^{rozr} = 20200 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 0,6 \cdot \frac{192}{290} = 4879 \text{ циклів за 1 год}$$

Висновки. Аналіз дефектів, що виникають у конструкціях вантажних вагонів на всіх етапах їхнього життєвого циклу, дає змогу прогнозувати їх пошкодження в експлуатації та систематизувати ймовірні причини їх виникнення.

На основі проведеного аналізу технічного стану та несучих конструкцій напіввагонів вітчизняного виробництва, з характерними для 1,5 строку експлуатації зносами, визначено фактичні значення

зносів несучих елементів кузовів напіввагонів та розроблено уточнені розрахункові скінчено-елементні моделі несучих конструкцій вантажного вагона на прикладі напіввагона моделі 12-757.

Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції кузова напіввагона з характерними для 1,5 строку експлуатації зносами та отримано значення максимальних еквівалентних напружень у його несучих елементах за основних режимів експлуатаційних навантажень. Чисельні значення максимальних еквівалентних напружень при цьому не перевищують допустимі, що дає змогу зробити висновок про можливість подальшої експлуатації вагона.

Матеріали цієї публікації отримано в процесі виконання заявки проєкту Ф84 ДФФД.

За результатами контрольних випробувань напіввагона моделі 12-532, строк служби якого перевищував полуторний (1980 р. виробництва), встановлено, що напруження в його несучих конструкціях не перевищують допустимих значень. Пошкодження рами вагона у вигляді деформацій, тріщин, розривів за основним металом та зварними швами відсутні.

Список літератури:

1. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». № 2. 2015. 250 p.
2. Фомін, О.В. Розробка методики впровадження різних профілів як складових елементів несучих систем вантажних вагонів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2012. 29 с.
3. Freight cars major metals. Trains. 2015. 20 p.
4. Lovska A.A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge, Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». № 1. 2015. 49 с.
5. Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczep siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. Logistyka № 4. 2014. 2272 p.
6. Фомін О.В., Гостра А.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України. Серія «Транспортні системи і технології». Київ : ДЕТУТ, 2015. 137 с.
7. Divya Priya G., Swarnakumar A. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. Intern. J. of Innovative Technology and Research. 2014. 1568 p.
8. Krason W., Niezgoda T. FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. 2014. 843 с.
9. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. Зб. наук. праць. Харків : УкрДАЗТ, 2009. 121 с.
10. Kondratiev A., Slivinsky M. Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 6/5 (96). P. 42–48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387.
11. Kondratiev A., Gaidachuk V. Weight-based optimization of sandwich shelled composite structures with a honeycomb filler. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol 1/1 (97). P. 24–33. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154928.

КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУЗОВОГО ВАГОНА С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

За последние годы произошло значительное старение эксплуатационного парка грузовых вагонов, в том числе полувагонов. В настоящее время на сети железных дорог Украины находятся в эксплуатации полувагоны (далее – вагоны) различных моделей и их модификаций с нормативным сроком службы 22 года. Для решения вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации вагонов с истекшим сроком службы проводится их техническое диагностирование. Анализ технического состояния полувагонов после проведения плановых видов ремонта показывает, что значительная их часть находится в удовлетворительном состоянии. Из-за недостаточного финансирования приобретения новых вагонов для обеспечения бесперебойного выполнения грузовых перевозок железнодорожным транспортом актуальным остаётся проведение работ по исследованию определения остаточного ресурса полувагонов и возможности продолжения их эксплуатации в пределах Украины более полуторного срока.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, грузовой вагон, полувагон модели 12-532, рама кузова, хребтовая балка, ударные испытания, ресурс, срок службы.

CONTROL TESTING OF FREIGHT WAGON WITH THE AIM OF ASSESSING THE RESIDUAL RESOURCE OF NON-CONSTRUCTION STRUCTURES

In recent years, there has been a significant aging of the freight fleet of freight cars, including gondolas. At present, the railways of Ukraine are in service gondola cars (hereinafter – cars) of different models and their modifications with a normative term of service of 22 years. To resolve the issue of the possibility of further operation of wagons with expired service life, their technical diagnosis is carried out. Analysis of the technical state of gondolas after the planned repairs shows that a significant part of them is in satisfactory condition. Due to the lack of financing, the purchase of new cars to ensure uninterrupted performance of freight transport by rail remains relevant for research on determining the residual life of gondolas and the possibility of extending their operation within Ukraine for more than a half-year.

Key words: railway transport, freight wagon, semi-wagon model 12-532, body frame, spindle beam, shock tests, life, service life.

УДК 621.331.6:621.311:656.4
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/32>

Харченко В.Ф.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Козлова О.С.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ДО ПИТАННЯ РЕАЛЬНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Пропонуються методи визначення потенціалу енергозбереження на міському електричному транспорті та прогнозу потреби енергоресурсів на перспективу. Це дає змогу ефективно використовувати технічні засоби і технології енергозбереження усіх служб електротранспортної галузі для зниження питомих витрат енергоресурсів та енергоємності міського електротранспорту загалом. Зокрема, розглядаються можливості енергоефективної роботи у сфері організації процесу перевезень, рухомого складу міського електричного транспорту, систем тягового та зовнішнього енергопостачання, колійного господарства. Також особливу увагу приділено питанням енергозбереження в нетяговій енергетиці електротранспортної галузі.

Ключові слова: електричний транспорт, енергоресурси, потенціал, енергозбереження, питомі витрати.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Надійна та енергоефективна робота міського електричного транспорту є одним із найважливіших показників соціально-економічної стабільності держави, що безпосередньо впливає на ефективність систем міського господарства, підприємств, організацій всіх галузей економіки країни. Як свідчить досвід окремих міст та країн, вектором транспортної політики є створення інтегрованих транспортних систем, а саме взаємозв'язок залізничного, авіаційного і міського транспорту для ефективного переміщення значних пасажиропотоків на станціях пересадки з одного виду транспорту на інший, наприклад, міський електричний транспорт – метрополітен – електрифіковані залізниці та аеропорти.

Основу енергетичних ресурсів міського електротранспорту становить електрична енергія, яка до 90–95% споживається з метою пасажирських перевезень (на тягу) і 5–10% – на внутрішні технологічні потреби транспортних підприємств [1, с. 13].

Аналіз реалізації програм енергозбереження на електричному транспорті (трамвайні і тролейбусні мережі) показав різну міру впливу господарств, що забезпечують процес перевезень, на його енергетичну ефективність (рис. 1).

Основними в цьому питанні є ремонтно-експлуатаційні підприємства рухомого складу електричного транспорту (трамвайні та тролейбусні депо): на їхню частку припадає 53–55% економії енергетичних ресурсів. Інші складники енерго-

ефективності доводяться на енергослужбу (системи електропостачання трамвайно-тролейбусних мереж) (20–25%), службу колії (9–10%) і службу руху (15–22%). Ці дані дають змогу міським адміністраціям ранжувати міру участі і спрямованість фінансування заходів господарств з енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності [2, с. 180].

Безперервне та ефективне функціонування галузі міського електричного транспорту також залежить від надійної та якісної роботи систем зовнішнього електропостачання [3, с. 7].

Енергетичні технічні засоби і технології міського транспорту, що знаходяться в експлуатації на момент ухвалення програм із підвищення енергоефективності, мають різний доступний ресурс енергозбереження. Для кожного з них він визначається початковою енергоефективністю, яка закладена у процесі виготовлення пристрою, подальшими умовами і режимами роботи пристроїв, ступенем їх завантаженості, зносом, старінням та ін. Причому впродовж попередніх періодів експлуатації енергетичних пристроїв могли здійснюватися додаткові (крім закладених при виготовленні) спеціальні цілеспрямовані заходи з підвищення енергоефективності, які продиктовані відмінністю реальних умов експлуатації від закладених спочатку, подальшою модернізацією пристроїв та ін.

З початком реформування міського електричного транспорту вирішальним моментом розробки

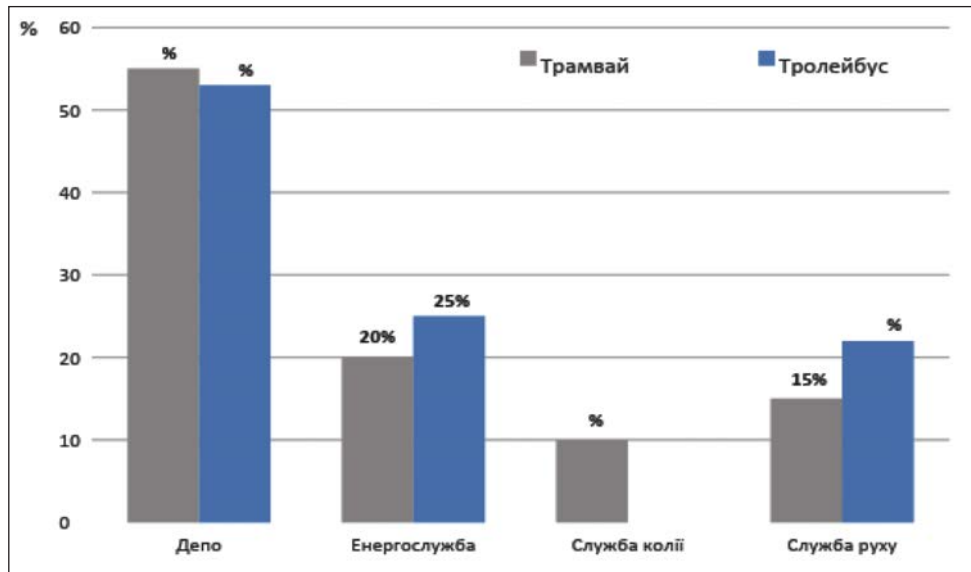


Рис. 1. Долі основних учасників процесу перевезень у зниженні витрати енергоресурсів на перевезення пасажирів міським електричним транспортом

подальших етапів реалізації програм енергозбереження є оцінка можливого залишкового і доступного потенціалу підвищення енергоефективності пасажирських перевезень, який може бути здійснений у найближчій і віддаленій перспективі.

Постановка завдання. Прогнозування реальних резервів (потенціалу) енергозбереження технічних засобів і технологій міського електротранспорту є однією з ключових задач програм енергозбереження. При цьому варто враховувати те, що до початку прогнозованого періоду в підрозділах електротранспорту вже здійснювалася активна діяльність з енергозбереження. Багато резервів енергозбереження (особливо легкодосяжних) було вибрано і вичерпано в минулі роки.

Таким чином, ставиться задача визначити для основних технічних засобів і технологій у всіх сферах діяльності підприємств міського електротранспорту технічно досяжні й економічно виправдані граничні значення показників, що впливають на енергоспоживання (реальний потенціал енергозбереження).

Виклад основного матеріалу дослідження. Технічно досяжними й економічно виправданими показниками, що впливають на енергоспоживання, є:

- для організації процесу перевезень – це комплекс показників експлуатаційної роботи, що істотно впливають на енергоспоживання (обсяг пасажирських перевезень, середня вага вагону трамваю та тролейбусної машини, експлуатаційна та середня ходова швидкості, маршрутизація пасажиропотоків, частка нульового пробігу (від-

стань від депо до точки виїзду рухомої одиниці на свій маршрут) електрорухомого складу, затримки трамвайних вагонів та тролейбусів на перехрестях, обмеження швидкості руху електричного транспорту, введення рухомих одиниць у графік);

- для рухомого складу трамваїв і тролейбусів – максимальний рівень експлуатаційного коефіцієнта корисної дії, реалізація рекуперативного гальмування, компенсація реактивної потужності, мінімальний рівень коефіцієнта тари, максимальні значення місткості і навантаження на вісь, мінімальна сила опору руху, мінімальний рівень витрати паливо-енергетичних ресурсів на опалювання і вентиляцію рухомого складу, сервісне обслуговування пасажирів. При цьому мають бути дотримані всі санітарні й екологічні нормативи комфортного перевезення пасажирів;

- для систем тягового електропостачання – мінімальний рівень технологічних втрат, мінімізація небалансу (умовних втрат) і перетоків потужності;

- для пристроїв колії – мінімальний рівень опору колійних конструкцій руху трамваю.

Як показує експлуатаційна практика, така оптимізаційна задача добре апроксимується експоненціальними залежностями, особливо в умовах багатofакторного впливу, яким і є процес формування питомої витрати енергоресурсів на тягу (тільки у сфері організації процесу перевезень діють 8 значущих факторів, а загалом їх понад 30).

Стратегію енергозбереження на прикладі оптимізації енерговитрат на міському електричному транспорті графічно можна представити у вигляді діаграми на рис. 2 [4, с. 18].

Спочатку вся система працює на стадії I, займаючи проміжне положення i ; у цьому разі фактичний к.к.д. всієї системи нижче ідеального ($\eta = 1$), утворюючи певний ресурс енергозбереження.

Під ідеальним тут розуміється стан системи, коли в чистому вигляді витрати енергії з переміщення пасажирів відбуваються за відсутності втрат у всіх колах системи.

Стратегія енергозбереження полягає в прагненні до максимального використання ресурсу енергозбереження шляхом технічно досяжних і економічно виправданих заходів. Причому, насамперед, використовуються, звичайно, найбільш ефективні і маловитратні механізми економії енергоресурсів. Тому на першому етапі процес підвищення енергоефективності йде найактивніше, поступово уповільнюючись у міру впровадження дорожчих, але менш ефективних заходів з енергозбереження.

Стадія I – найефективніша і масово використовується на практиці. Існує певний граничний стан (точка X на рис. 2), коли всі технічно досяжні і економічно виправдані (за терміном окупності) рішення реалізовані, і система працює з к.к.д. η_1 і оптимізованими втратами енергії $R_{\text{опт}}$.

Стадія II, коли зниження питомої витрати енергоресурсів можливе технічно, але з більш витратною ціною (великий термін окупності), використовується набагато рідше – наприклад, в умовах дефіциту енергоресурсів або дуже високих тарифів на них. Для тягової мережі прикладом роботи на стадії II може бути застосування в елементах тягового електропостачання поки що дуже дорогого явища надпровідності з метою подальшого зниження $R_{\text{опт}}$.

Стадія III використовується лише з науковою метою і в експериментальних умовах у разі необхідності відтворення граничних можливостей системи.

Таким чином, у межах задач енергетичної стратегії необхідне максимальне використання стадії I з наближенням роботи всіх технічних засобів, що забезпечують процес перевезень до точки X, тобто з максимальним використанням реального ресурсу енергозбереження на тягу та нетягової енергетики.

Також слід мати на увазі, що викладена модель стратегії підвищення енергетичної ефективності стосується будь-якої діючої технічної або технологічної системи. Якщо використання реального резерву підвищення її ефективності за будь-яких причин недостатньо, то необхідний перехід до нової інноваційної системи, що реалізує якісну і кількісну зміну в проблемі енергозбереження.

Модель формування енергозберігаючої діяльності міст України в галузі електричного транспорту ілюструється зіставленням динаміки зміни обсягів пасажирських перевезень і використання енергоресурсів за минулий період 1999–2018 рр. для всієї України (рис. 3, 4). Дані для аналізу отримані в [5].

Причому характерно, що практично за усі роки спостерігається зниження обсягів транспортної роботи (у % до попереднього року), тоді як динаміка споживання енергоресурсів міським електричним транспортом в цілому по Україні помітно зростає, що свідчить про нерезультативність реалізації програм енергозбереження та організаційно-технічних заходів, спрямованих на ефективність використання енергоресурсів. Разом із тим

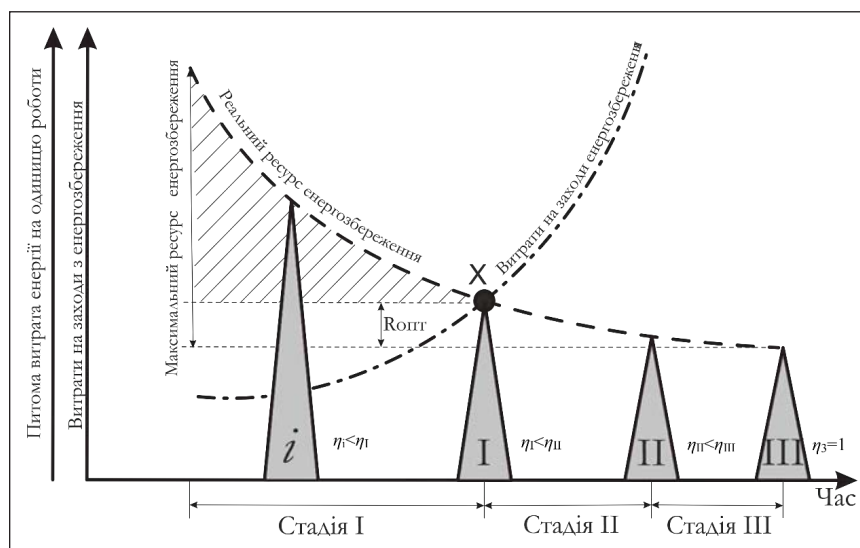


Рис. 2. Стратегія визначення потенціалу енергозбереження міського електричного транспорту

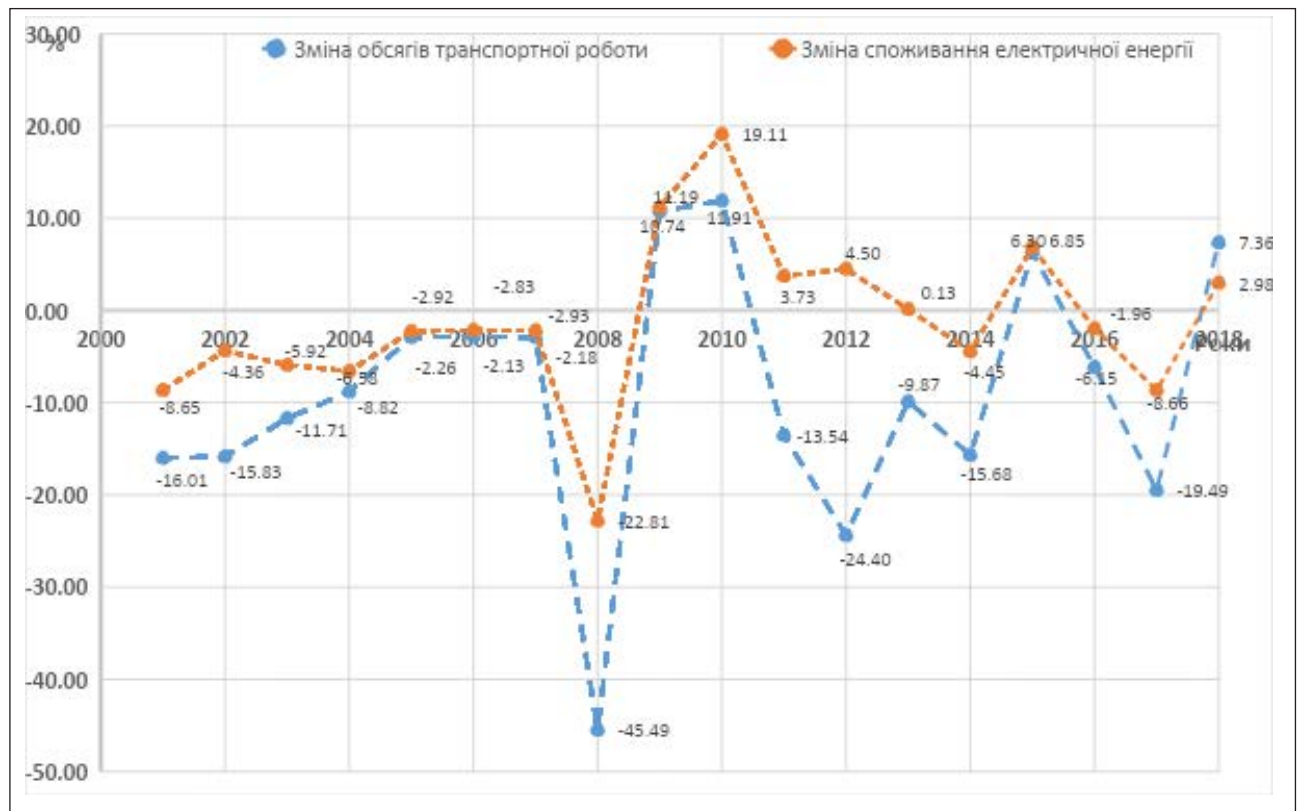


Рис. 3. Динаміка зміни загального обсягу перевезень (тис. пас-км) і споживання енергоресурсів (тис. кВт-год) трамвайними підприємствами України, у % до попереднього року

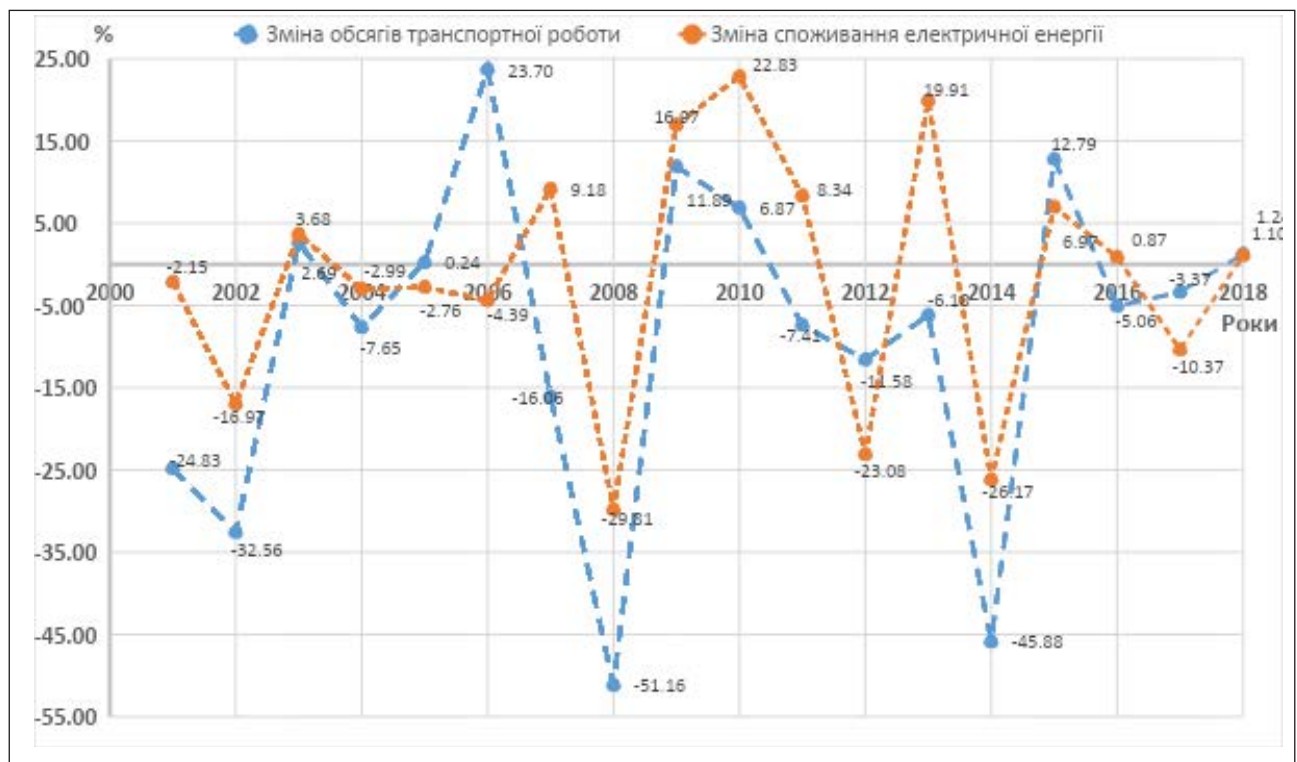


Рис. 4. Динаміка зміни загального обсягу перевезень (тис. пас-км) і споживання енергоресурсів (тис. кВт-год) тролейбусними підприємствами України, у % до попереднього року

є тенденції до поліпшення ситуації: в останні п'ять років у тролейбусних господарствах м. Дніпра спостерігається зростання транспортної роботи і зменшення витрат енергоресурсів. Для позитивної зміни, наведеної на рис. 3, 4, динаміки необхідне максимальне використання реального потенціалу енергозбереження та інновацій в області підвищення енергетичної ефективності рухомого складу та інфраструктурних складників на всіх етапах реформування електротранспортної галузі до створення моделі корпоративного управління.

Основними енергозберігаючими технічними рішеннями і технологіями, на які має бути орієнтована енергетика міського електричного транспорту **на перспективу**, є:

- створення нового покоління енергетично ефективного рухомого складу на основі останніх досягнень науково-технічного прогресу в цій області;
- підвищення рівня напруги передачі енергії до електрорухомого складу для швидкісних ліній;
- використання накопичувачів енергії в основних технологічних процесах і технічних засобів її генерації, включаючи теплову і механічну енергію;
- підвищення ефективності рекуперативного гальмування як одного з істотних факторів енергозбереження в електричній тязі;
- застосування енергоефективних технологій управління процесом перевезень, у тому числі з використанням на рухомому складі пристроїв і систем супутникової навігації;
- перехід на перетворювальну техніку на основі досягнень в області силових керованих напівпровідникових елементів і безмасляне, бездугове комутаційне електроустаткування, а також на сухі трансформатори;
- активний перехід на високоекономічні засоби світлової сигналізації й освітлення, в тому числі на основі світлодіодної техніки;
- створення єдиної системи управління якістю електроенергії з метою дотримання встановлених показників її якості і споживаної реактивної потужності на основі використання фільтр-пристроїв, накопичувачів електроенергії, систем контролю і управління цими показниками;
- широкомасштабне впровадження засобів технічного діагностування, передусім, в електроенергетиці;
- застосування в пасажирських вагонах, будівлях, спорудах і комунікаціях теплоізоляційних матеріалів нового класу і сучасних енергоекономічних кліматичних пристроїв;

– перехід при створенні пасажирського рухомого складу на матеріали і конструкції зі знизеним коефіцієнтом тари (алюмінієві сплави, конструкційні пластики та ін.);

– використання досягнень в області надпровідності, водневої енергетики, теплових насосів, паливних елементів, технологій утилізації відходів виробництва, вітрової і сонячної енергії, енергоефективних і озонобезпечних холодагентів;

– застосування новітніх технологій навчання для фахівців, які обслуговують і експлуатують ресурсо- й енергозберігаючі засоби, що впроваджуються.

За багатьма з перерахованих засобів і технологій у минулий період на підприємствах міського електричного транспорту України велися розробки та здійснювалося впровадження дослідних зразків.

Водночас основну роль у формуванні енергетичного балансу і зниженні як питомих, так і абсолютних показників енергоспоживання на електротранспортних підприємствах України відіграватимуть такі фактори:

– заміна рухомого складу і технічних засобів із перевищеним терміном експлуатації на нову техніку з високою продуктивністю та поліпшеними енергетичними показниками;

– подальше розширення ліній тягових мереж;

– організація прямування пасажирського рухомого складу за енергооптимальними графіками руху з оснащенням його системами автоведення.

У нетяговій енергетиці, пов'язаній із ремонтом рухомого складу і діяльністю об'єктів інфраструктури, має істотно зменшитися енергоспоживання через підвищення в 2–3 рази рівня надійності технічних засобів, збільшення напрацювання на відмову та міжремонтних пробігів.

В області **організації процесу перевезень** має вестися постійний моніторинг динаміки зміни основних факторів, що найбільше впливають на питому витрату енергоресурсів на тягу (табл. 1).

Багато з них, як показує попередній період, має позитивну динаміку. З урахуванням цього доцільно встановити планові рівні їх поліпшення, досягнення яких дасть змогу стабільно знижувати питому витрату енергоресурсів на тягу поїздів за цими показниками. Для підвищення відповідальності усіх учасників процесу перевезень за раціональне використання енергоресурсів при організації процесу перевезень дієвими видаються розробка і впровадження механізму віднесення додаткових енерговитрат, викликаних, наприклад, нагоном при порушеннях графіків руху рухомого

складу в результаті тимчасових обмежень швидкості руху транспорту і неграфікових зупинок, на винуватця таких необґрунтованих обмежень. Застосування енергооптимальних режимів управління рухом електротранспорту на основі систем автоведення, які враховують масу рухомого складу, план і профіль колії, умови організації пасажиропотоків, тягові і гальмівні характеристики трамваїв та тролейбусів, з досвіду великих міст Європи дає змогу економити енергоресурси в середньому на 2,0–2,5%, а на окремих маршрутах – до 10,0%.

Таблиця 1

Планові рівні основних факторів, що впливають на питому витрату енергоресурсів на тягу

Показник	Плановий річний рівень зміни показника, %
Середня вага рухомого складу	+1,0
Середня ходова швидкість рухомого складу	+0,5
Навантаження на вісь рухомого складу	+0,5
Доля нульового пробігу рухомого складу	-1,5
Затримки на перехрестях	-3,0
Обмеження швидкості руху в міських умовах	-2,0
Кількість неграфікових зупинок рухомого складу	-2,0
Час нагону графіку руху	-2,0

В області **електрорухомого складу** одним з основних пріоритетів є створення нового покоління енергетично ефективних трамвайних вагонів та тролейбусних машин, модернізація й оновлення електроприводів із наданням переваги асинхронним електричним машинам. Разом із тим не можна не зазначити поступове зростання інвентарної кількості рухомого складу трамваїв і тролейбусів у містах України: порівняно з кризовим 2008 р. у 2017 р. кількість вагонів трамваїв збільшилась на 383 одиниці, а тролейбусів – на 45 машин, незважаючи на постійне вибуття та списання рухомого складу внаслідок старіння. Перспективний електрорухомий склад має відповідати вимогам значного підвищення його енергетичної ефективності шляхом застосування інтелектуальних систем управління і енергозберігаючого тягового електроустаткування з рекуперативним гальмуванням в усьому діапазоні швидкостей руху. Досвід показує, що оптимізація електроспоживання має здійснюватися комплексно: як завдяки впровадженню нового і модер-

нізації наявного рухомого складу електричного транспорту, так і у сфері організації перевезень і в системах тягового електропостачання. З урахуванням цього задля зниження питомих енерговитрат мають вестися роботи в таких напрямках:

- розробка енергетичних діаграм ділянок роботи транспортних мереж, що визначають граничні рівні рекуперації електричної енергії;
- максимальне використання можливостей рекуперації електричної енергії на рухомому складі електричного транспорту;
- відновлення впровадження енергооптимальних технологій управління рухомим складом залежно від експлуатаційних умов;
- поліпшення тягово-енергетичних характеристик електрорухомого складу (мінімізація втрат енергії в тяговому ланцюзі і на власні потреби, оптимальне за енергоспоживанням електроустаткування).

Система тягового електропостачання міського електричного транспорту працює без належних резервів, необхідних для забезпечення прогнозованого зростання обсягу перевезень пасажирів, внаслідок обмеженої здатності навантаження пристроїв електропостачання. Окрім відсутності необхідних резервів потужності системи електропостачання, обмеження в споживанні електроенергії і, як наслідок, зниження провізної спроможності можуть бути викликані виводом в аварійний ремонт контактної мережі та устаткування підстанцій. Темп старіння пристроїв електропостачання за наявного дефіциту фінансування продовжує випереджати темпи реконструкції. Незважаючи на те, що на 25% тягових підстанцій були замінені пристрої та системи телемеханіки на сучасні системи фірми «Лоза», з терміном служби понад 40 років нині працюють 75% від загальної кількості тягових підстанцій міського електричного транспорту. Сучасне обладнання дасть змогу підвищити енергоефективність тягової підстанції на 15–20% за рахунок масо-габаритних характеристик, застосування сучасних матеріалів і електроніки, відсутності додаткового охолодження. На цей час необхідна повна реконструкція більше 60% довжини контактної мережі та тягових підстанцій.

В колійному господарстві трамвайних підприємств України майже відновлена довжина колії 17-річної давнини. В роки розквіту галузі довжина колії становила близько 2,5 тис. км. У 2001 р. внаслідок кризи в 90-х рр. загальна довжина дорівнювала приблизно 2,1 тис. км, тоді як наприкінці 2018 р. був зафіксований показник майже 2,0 тис. км.

З метою зниження витрати енергоресурсів у рейковій мережі доцільно, наприклад, застосовувати новітні термозміцнені трамвайні рейки, а також методи та засоби зниження величини блукаючих струмів. Збереження темпу реалізації вказаних заходів у колійному господарстві і надалі дасть змогу забезпечити 5–6% зниження питомих енерговитрат на тягу поїздів.

Значний потенціал енергозбереження зосереджений у **нетяговій енергетиці**, що забезпечує інфраструктурну складову частину процесу перевезень. Потенціал підвищення енергетичної ефективності споживання електроенергії на нетягові потреби може бути реалізований за такими напрямками:

- зниження споживання електричної енергії на нетягові потреби шляхом впровадження сучасних, енергоекономічних технічних засобів і технологій;
- вдосконалення виробничо-технологічних процесів ремонту рухомого складу і колії;
- зниження втрат електричної енергії в мережах нетягового електропостачання.

У сегменті умовно-постійної складової частини витрат електроенергії на нетягові потреби (допоміжний характер виконання технологічного процесу) помітного зниження електроспоживання можна домогтися шляхом впровадження інтелектуальних систем управління освітленням, заміни ламп розжарювання і газорозрядних ламп на світлодіодні джерела світла, що дасть змогу понизити витрати електроенергії на освітлення до 30% і удвічі – на роботу пристроїв світлової сигналізації. Очікувана економія енергоресурсів може становити 12–15% від загального споживання на ці потреби.

У сегменті змінної складової частини електроспоживання на нетягові потреби (зумовлена виконанням основного виду експлуатаційної роботи і залежить від її обсягу) більше 80%

витрати електричної енергії припадає на виробниче устаткування. Одним із перспективних напрямів зниження витрати електричної енергії, яке знаходить дедалі ширше застосування, є впровадження частотно-регульованого приводу компресорів, насосів, вентиляторів і т. д. В області електротермічної обробки дедалі більшого поширення набувають комбіновані системи нагріву (індукційний, із використанням альтернативних енергоресурсів тощо), вакуумні електропечі і системи автоматичного управління електротермічною обробкою. Ці й інші технічні рішення в сукупності із заміною електроустаткування надмірної потужності і проведенням організаційних заходів, які спрямовані на забезпечення раціонального використання електричної енергії, дадуть змогу понизити її витрату на нетягові потреби за змінною складовою частиною до 15,8%.

Відповідно, потенціал економії енергоресурсів на нетягові потреби становить від 20 до 33% від обсягу його споживання на ці потреби за наявного обсягу виконуваної ремонтно-експлуатаційної роботи.

Висновки. Запропоновано метод визначення потенціалу енергозбереження на міському електричному транспорті, що дає змогу ефективно використовувати технічні засоби і технології енергозбереження усіх служб електротранспортної галузі задля зниження питомих витрат енергоресурсів та енергоємності міського електротранспорту загалом.

Запропоновано максимальне використання рекуперації (економія до 10% електроенергії); застосування компенсаторів реактивної потужності в оптимальному поєднанні з поперечною і поздовжньою компенсацією реактивної потужності в мережах зовнішнього енергопостачання тягових підстанцій (економія до 3–5% електроенергії).

Список літератури:

1. Гордієнко О.С. Енергозбереження транспортних підприємств. *Енергетика и энергосбережение. Технологический аудит и резервы производства ISSN 2226-3780*. 2012. № 5/1(7). С. 13–14.
2. Далека В.Х. Методологічні аспекти ресурсозбереження на міському електричному транспорті. *Коммунальное хоз-во городов*. Вып. 49. 2003. С. 179–184.
3. Говоров П.П., Харченко В.Ф., Говоров В.П. Автоматизація керування режимами міських електричних мереж : монографія. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. 229 с.
4. Доманський І.В. Основи енергоефективності електричних систем з тяговими навантаженнями : монографія. НТУ «ХПІ». Харків : вид-во ТОВ «Центр інформації транспорту України», 2016. 224 с.
5. Аналітична інформація. Корпорація підприємств міського електротранспорту України : офіційний веб-сайт. URL: <http://korpmet.org.ua/> (дата звернення 13.03.2019).

К ВОПРОСУ РЕАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Предлагаются методы определения потенциала энергосбережения на городском электрическом транспорте и прогноза потребности энергоресурсов на перспективу. Это позволяет эффективно использовать технические средства и технологии энергосбережения всех служб электротранспортной области для снижения удельных расходов энергоресурсов и энергоемкости городского электротранспорта в целом. В частности, рассматриваются возможности энергоэффективной работы в сфере организации процесса перевозок, подвижного состава городского электрического транспорта, систем тягового и внешнего энергоснабжения, путевого хозяйства. Также особое внимание уделено вопросам энергосбережения в нетяговой энергетике электротранспортной отрасли.

Ключевые слова: *электрический транспорт, энергоресурсы, потенциал энергосбережения, удельные расходы.*

ABOUT REAL POTENTIAL OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT

The methods of determining the energy saving potential of urban electric transport and forecasting the energy needs for the future are proposed. This allows efficient use of technical means and technologies of energy saving of all services of the electric transport industry to reduce the specific energy consumption and energy intensity of urban electric transport in general. In particular, they consider the possibilities of energy efficient work in the field of organization of the process of transportation, rolling stock of urban electric transport, traction and external power supply systems, track economy. Also, special attention is paid to the issues of energy saving in the non-traction energy of the electric transport industry.

Key words: *electric transport, energy resources, potential, energy saving, specific costs.*

БУДІВНИЦТВО

УДК 624.014

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/33>**Білик С.І.**

Київський національний університет будівництва та архітектури

Юрченко В.В.

Київський національний університет будівництва та архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІРІВ ВІДГИНІВ, ЩО ПІДКРІПЛЮЮТЬ ПОЛИЦІ, ДЛЯ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ХОЛОДНОГНУТИХ ПРОФІЛІВ

У статті розглядається задача оптимізації розміру одинарного відгину, що підкріплюють полиці, в стержневих елементах конструкцій із холодногнутих профілів. Як критерій оптимальності використана лінійна згортка критерію мінімізації розрахункової площі відгину та критерій максимізації редукованої площі відгину, що визначає його пониженою (за рахунок втрати стійкості за згинальною формою випучування) несучою здатністю. Результати виконаних досліджень служать рекомендаціями для компаній, що виготовляють холодногнуті профілі, а також рекомендаціями для створення національного сортаменту ефективних холодногнутих профілів, що сприятиме ширшому впровадженню цього класу конструкцій у практику будівництва.

Ключові слова: несуча здатність, холодногнутий профіль, задача оптимізації, одинарний відгин, елемент жорсткості, втрата стійкості форми перерізу, лінійна згортка критеріїв.

Постановка проблеми. Раніше використання холодноформованих тонкостінних профілів обмежувалося випадками, коли зниження ваги конструкції було першочерговою задачею, як, наприклад, у авіаційній або автомобільній промисловості. Проте завдяки розвитку технології виробництва, захисту від корозії, доступності продукції, а також розумінню поведінки конструкції та удосконаленню технічних норм розрахунку тонкостінних елементів використання холодноформованих елементів конструкцій, зокрема холодногнутих профілів, поступово розширюється.

Нині на український ринок металоконструкцій активно імпортуються різноманітні конструктивні системи із тонкостінних холодногнутих профілів, які знайшли широке застосування у будівельній індустрії. Впровадження у практику будівництва конструкцій із тонкостінних холодногнутих профілів є актуальним та економічно обґрунтованим у тій галузі використання, де їх ефективність є найвищою [3]. Проте широке використання конструкцій із тонкостінних холодногнутих профілів вітчизняного виробництва затримується передусім недосконалістю нормативної бази та недостатністю вітчизняного досвіду економічного та надійного проектування таких конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Деформування та розподіл напружень у тонкостінних стержнях відкритого профілю суттєво відрізняється від звичайних суцільних стержнів, адже не виконуються (повністю або частково) гіпотеза плоских перерізів Ейлера-Бернуллі та принцип локальності дії взаємно врівноваженої системи сил Сен-Венана. У тонкостінних стержнях відкритого профілю відбувається значна депланація перерізів, що суттєво відображається на умовах їх роботи під навантаженням.

Повною мірою питання розрахунку та проектування тонкостінних стержневих елементів із холодногнутих профілів відображені у європейських нормах проектування, імплементованих на території України [1; 2]. Окрім місцевої та загальної форм втрати стійкості (за згинальною та згинально-крутильною формами), у цих нормах розглядається також *втрата стійкості форми поперечного перерізу* тонкостінного стержня (тобто втрата стійкості внаслідок викривлення поперечного перерізу). Втрата стійкості форми поперечного перерізу є характерною для тонкостінних стержнів відкритого профілю і викликана їх депланацією. Вона відбувається тоді, коли кінцеві елементи жорсткості (відгини) або проміжні елементи жорсткості не в змозі

чинити опір локальному зміщенню вузлів спряжень елементів перерізу.

Загальний алгоритм побудови (нормативного розрахунку) редукованого поперечного перерізу тонкостінного стержня із холодногнутого профілю включає два етапи.

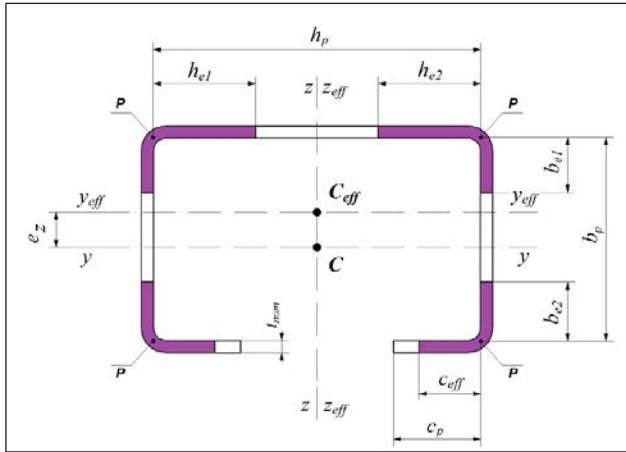


Рис. 1. До нормативного розрахунку редукованого поперечного перерізу стержня із С-подібного холодногнутого профілю – перший етап

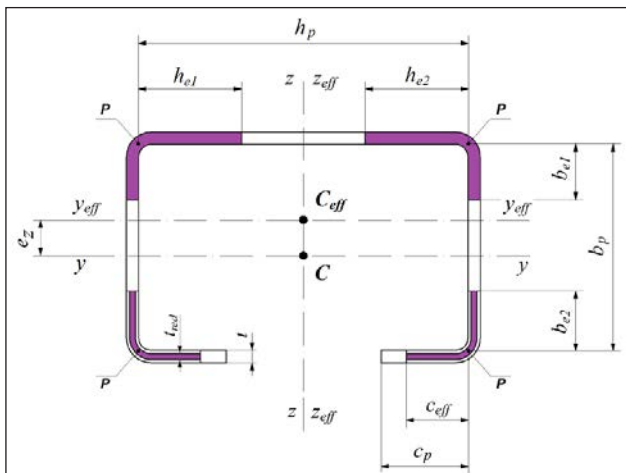


Рис. 2. До нормативного розрахунку редукованого поперечного перерізу стержня із С-подібного холодногнутого профілю – другий етап

На першому етапі виконують розрахунок редукованих ширин стиснутих елементів перерізу, що враховує місцеву втрату стійкості стиснутих елементів перерізу. Іншими словами, коли у розглядуваному перерізі за результатами розрахунку елементи перерізу – полички, стінки – втратили стійкість (випучились), це враховується у перевірочних розрахунках вирахуванням тих ділянок перерізу, що втратили місцеву стійкість (рис. 1).

На другому етапі виконують розрахунок редукованих (зменшених) товщин елементів перерізу, що враховують втрату стійкості форми поперечного перерізу (або втрату стійкості внаслідок викрив-

лення перерізу). Іншими словами, коли в розглядуваному перерізі за результатами розрахунків відбулась втрата стійкості тих стиснутих елементів перерізу, які спричинили (спровокували) втрату стійкості форми перерізу, це враховується у перевірочних розрахунках зменшенням товщин саме цих елементів перерізу. При цьому редуковані товщини елементів перерізу обчислюються після розрахунку редукованих ширин (рис. 2).

Надалі виконують розрахунок несучої здатності тонкостінних стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів із використанням отриманих геометричних характеристик, обчислених для побудованих редукованих поперечних перерізів.

Постановка завдання. Розглянемо задачу пошуку оптимальних розмірів одинарного відгину, що підкріплює поличці, в центрально-стиснутих стержневих елементах конструкцій із холодногнутих профілів (рис. 3).

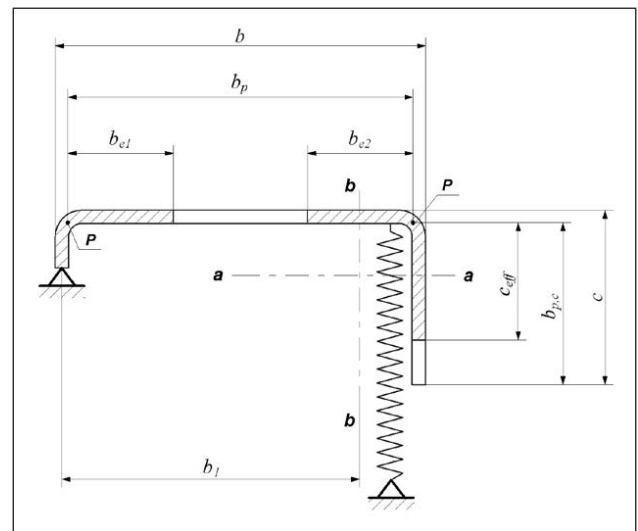


Рис. 3. Одинарний відгин, що підкріплює плоский елемент перерізу (поличку) (ширина полички b не має перевищувати 60 t, t – товщина профілю)

Вихідними даними для оптимізаційного розрахунку служать: габаритні розміри С-подібного холодногнутого профілю: висота стінки h , ширина поличці b , товщина профілю t , внутрішній радіус спряження елементів перерізу $r = 1,5t$; базова межа текучості сталі f_{yb} , МПа; E – модуль пружності сталі, МПа.

Як змінну проектування розглядатимемо габаритний розмір одинарного відгину c (див. рис. 3).

Виклад основного матеріалу дослідження. Розрахункові розміри плоских елементів перерізу С-подібного або Z-подібного холодногнутих профілів, що розглядаються як змінні стану задачі оптимізації, обчислюються залежно від габаритних розмірів профілю h і b , внутрішнього

радіусу $r = 1,5t$ та товщини профілю t як:

– розрахункова висота стінки профілю:

$$h_p = h - 2,5t;$$

– розрахункова ширина полиці профілю:

$$b_p = b - 2,5t;$$

– розрахунковий розмір одинарного відгину:

$$c_p = c - 1,25t.$$

Гнучкість полиці шириною b_p , яку підкріплює одинарний відгін, обчислюється за [1; 2] як:

$$\bar{\lambda}_{pb} = \frac{b_p}{28,4t\sqrt{k_{\sigma 1, jkm}}} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}} = \frac{b_{pb}}{56,8t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}}.$$

Поличка профілю із гнучкістю $\bar{\lambda}_{pb}$ працює в закритичній стадії роботи (після втрати місцевої стійкості) у випадку, коли $\bar{\lambda}_{pb} > 0,673$ або

$$\frac{b_p}{56,8t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}} > 0,673,$$

або

$$b_p > 38,2264t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}}.$$

При цьому редукована ширина полиці b_{eff} визначається за [1; 2] як:

$$b_{eff} = \frac{b_p}{\bar{\lambda}_{pb}} \left(1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_{pb}} \right) = 56,8t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \left(1 - \frac{12,496t}{b_p} \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \right),$$

і частина редукованої ширини полиці b_{e2} , що залучається до сумісної роботи з одинарним відгином для розрахунку його загальної стійкості за згинальною формою випучування, визначається відповідно до [1; 2] як:

$$b_{e2} = 0,5b_{p,eff} = \frac{b_p}{2\bar{\lambda}_{pb}} \left(1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_{pb}} \right) = 28,4t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \left(1 - \frac{12,496t}{b_p} \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \right) \quad (1.1)$$

У разі, коли явище втрати місцевої стійкості полицки не відбулось, тобто коли $\bar{\lambda}_{pb} \leq 0,673$ або

$$b_p \leq 38,2264t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}},$$

до сумісної роботи з одинарним відгином для розрахунку його загальної стійкості за згинальною формою випучування залучається вся розрахункова ширина полицки b_p :

$$b_{e2} = b_{eff} = b_p.$$

Гнучкість одинарного відгину із розрахунковою шириною c_p , який підкріплює полицю, визначається відповідно до [1; 2] як:

– для коротких одинарних відгинів (при $c_p \leq 0,35b_p$):

$$\bar{\lambda}_{pc} = \frac{c_p}{28,4t\sqrt{0,5}} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}} = 0,0498 \frac{c_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}};$$

– для довгих одинарних відгинів (при $0,35b_p < c_p \leq 0,6b_p$):

$$\bar{\lambda}_{pc} = \frac{c_p}{28,4t\sqrt{0,5 + 0,83\left(\frac{c_p}{b_p} - 0,35\right)^{\frac{2}{3}}}} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}}.$$

Для одинарного відгину із розрахунковою шириною c_p явище втрати місцевої стійкості відбувається, коли $\bar{\lambda}_{pc} > 0,748$ або

– для коротких одинарних відгинів (при $c_p \leq 0,35b_p$):

$$\bar{\lambda}_{pc} = \frac{c_p}{28,4t\sqrt{0,5}} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}} = 0,0498 \frac{c_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}} > 0,748;$$

звідки

$$c_p > 15,02121t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}};$$

– для довгих одинарних відгинів (при $0,35b_p < c_p \leq 0,6b_p$):

$$\bar{\lambda}_{pc} = \frac{c_p}{28,4t\sqrt{0,5 + 0,83\left(\frac{c_p}{b_p} - 0,35\right)^{\frac{2}{3}}}} \sqrt{\frac{f_{yb}}{235}} > 0,748;$$

звідки

$$c_p > 21,2432t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \sqrt{0,5 + 0,83\left(\frac{c_p}{b_p} - 0,35\right)^{\frac{2}{3}}}.$$

Для одинарного відгину, що працює в закритичній стадії роботи (після втрати місцевої стійкості), редукована ширина c_{eff} визначається відповідно до [1; 2] як:

– при $\bar{\lambda}_{pc} > 0,748$ і $c_p \leq 0,35b_p$:

$$c_{eff} = \frac{t}{0,0498} \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \left(1 - 3,7754 \frac{t}{c_p} \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \right); \quad (1.2)$$

– при $\bar{\lambda}_{pc} > 0,748$ і $0,35b_p < c_p \leq 0,6b_p$:

$$c_{eff} = 28,4t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \sqrt{0,5 + 0,83\left(\frac{c_p}{b_p} - 0,35\right)^{\frac{2}{3}}} \times \left(1 - 5,3392 \frac{t}{c_p} \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \sqrt{0,5 + 0,83\left(\frac{c_p}{b_p} - 0,35\right)^{\frac{2}{3}}} \right). \quad (1.3)$$

У разі, коли явище втрати місцевої стійкості одинарного відгину не відбулось, тобто коли $\bar{\lambda}_{pc} \leq 0,748$ або

– для коротких одинарних відгинів (при $c_p \leq 0,35b_p$):

$$c_p \leq 15,02121t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}};$$

– для довгих одинарних відгинів (при $0,35b_p < c_p \leq 0,6b_p$):

$$c_p \leq 21,2432t \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} \sqrt{0,5 + 0,83 \left(\frac{c_p}{b_p} - 0,35 \right)^2},$$

редукована ширина одинарного відгину c_{eff} приймається рівною його розрахунковій ширині:

$$c_{eff} = c_p.$$

Гнучкість одинарного відгину для розрахунку його стійкості за згинальною формою випучування обчислюється відповідно до [1; 2] як:

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb} A_s}{2 \sqrt{KEI_s}}} = \sqrt{\frac{f_{yb} t (c_{eff} + b_{e2})}{\sqrt{KEI_s} \left(\frac{1}{3} + \frac{b_{e2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)}}; \quad (7.1.4)$$

тут A_s і I_s – геометричні характеристики розрахункового перерізу одинарного відгину; K – жорсткість лінійної пружини, за допомогою якої моделюється часткове підкріплення плоского елемента перерізу (полочки) одинарним відгином, обчислюватиметься як для центрально-стиснутих поперечних перерізів холодногнутих профілів, симетричних відносно головної осі інерції, перпендикулярної до площини стінки, з полочками, підкріпленими одинарними відгинами, відповідно до [1; 2] як:

$$K = \frac{E}{3,64} \cdot \frac{t^3}{\left(b_p - \frac{0,5(b_{e2})^2}{c_{eff} + b_{e2}} \right)^2 \left(1,5h_p + b_p - \frac{0,5(b_{e2})^2}{c_{eff} + b_{e2}} \right)}$$

Залежно від значення умовної гнучкості $\bar{\lambda}_d$ елемента жорсткості (одинарного чи подвійного відгину) визначається понижуючий коефіцієнт втрати стійкості елемента жорсткості за згинальною формою його випучування (або коефіцієнт втрати стійкості форми перерізу) як:

$$\chi_d = \Xi(\bar{\lambda}_d);$$

де функціональна залежність Ξ визначається відповідно до [1; 2] як:

$$\Xi(\bar{\lambda}_d) = \begin{cases} 1,0 & \text{при } \bar{\lambda}_d \leq 0,65; \\ 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d & \text{при } 0,65 < \bar{\lambda}_d \leq 1,38; \\ 0,66\bar{\lambda}_d^{-1} & \text{при } \bar{\lambda}_d > 1,38. \end{cases} \quad (1.5)$$

Зазначимо, що при $\bar{\lambda}_d \leq 0,65$ явище втрати стійкості форми поперечного перерізу відсутнє.

Залежно від значення коефіцієнта стійкості χ_d обчислюється редукована площа розрахункового перерізу елемента жорсткості (одинарного відгину), що визначає його пониженою (за рахунок втрати стійкості за згинальною формою випучування) несучою здатністю як:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s. \quad (1.6)$$

Понижена (за рахунок втрати стійкості за згинальною формою випучування) несуча здатність елемента жорсткості враховується в розрахунок шляхом рівномірного зменшення товщини розрахункового перерізу елемента жорсткості:

$$t_{red} = t \frac{A_{s,red}}{A_s}.$$

Виконаний аналіз побудованих границь області несучої здатності перерізів стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів засвідчив стрибкоподібне зменшення їх несучої здатності у випадках, коли переріз переходить до закритичної стадії роботи, яка характеризується настанням явища втрати місцевої стійкості елементів перерізу та/або втрати стійкості форми перерізу. Окрім того, такий аналіз показав збільшення їх несучої здатності у разі збільшення поздовжньої сили розтягу, що пояснюється збільшенням геометричних характеристик редукованого перерізу за рахунок зменшення розмірів (ширини) тих ділянок перерізу, що працюють у закритичній стадії.

Наведені міркування спонукають розглянути як функцію мети для задач оптимізації розмірів поперечних перерізів стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів критерій мінімізації різниці між редукованими поперечними перерізами та поперечними перерізами бруто:

$$\mathbf{FES}_A = A_s - A_{s,red} \rightarrow \min;$$

або з урахуванням (1.6):

$$\mathbf{FES}_A = A_s - A_{s,red} = A_s - \chi_d A_s = A_s (1 - \chi_d) \rightarrow \min;$$

$$\mathbf{FES}_A(c) = t(c_{eff} + b_{e2}) (1 - \chi_d(\bar{\lambda}_d)) \rightarrow \min; \quad (1.7)$$

тут c_{eff} , b_{e2} і $\bar{\lambda}_d$ визначаються відповідно за (1.2), (1.3), (1.1) і (1.4) та залежать від розмірів поперечного перерізу h , b , t та змінного розміру одинарного відгину c , а функціональна залежність $\chi_d(\bar{\lambda}_d)$ визначається відповідно до (1.5).

Запропонований критерій оптимальності одинарного відгину (1.7), що підкріплює полиці в стержневих елементах конструкцій із холодногнутих профілів, фактично являє собою лінійну згортку (за однакових вагових коефіцієнтів) двох критеріїв:

1) мінімізація розрахункової площі поперечного перерізу елемента жорсткості A_s , що забезпечує мінімальні витрати матеріалу під час виготовлення перерізу;

2) максимізація редукованої площі поперечного перерізу одинарного відгину $A_{s,red}$, що визначає його пониженою (за рахунок втрати стійкості за згинальною формою випучування) несучою здатністю, іншими словами, максимізація несучої здатності одинарного відгину.

Таблиця 1.1

Результати оптимізаційного розрахунку для С-подібних холодногнутих профілів групи компаній "Blachy Pruszyński"

Профіль, мм	Вихідне проектне рішення				Оптимальне проектне рішення за критерієм				
					$A_s - A_{s,red} \rightarrow \min$				$A_{s,red} \rightarrow \max$
	с, мм	χ_d	t_{red} , мм	$A_{s,red}$, мм ²	c_{min}^{opt} , мм	χ_d	t_{red} , мм	$A_{s,red}$, мм ²	c_{max}^{opt} , мм
100×48×1,5	18	0,968	1,452	87,66	20,5	1,0	1,5	94,31	28,4
100×48×2,0	18	1,0	2,0	117,0	15,7	1,0	2,0	112,40	28,3
100×48×2,5	18	1,0	2,5	141,56	13,3	1,0	2,5	129,81	28,1
100×48×3,0	18	1,0	3,0	164,25	12,0	1,0	3,0	146,25	28,0
150×48×1,5	18	0,921	1,381	83,36	24,5	1,0	1,5	100,31	28,5
150×48×2,0	18	0,996	1,993	116,56	18,3	1,0	2,0	117,6	28,3
150×48×2,5	18	1,0	2,5	141,56	15,2	1,0	2,5	134,56	28,2
150×48×3,0	18	1,0	3,0	164,25	13,5	1,0	3,0	150,75	28,1
200×48×1,5	18	0,883	1,324	79,95	28,3	1,0	1,5	106,01	28,5
200×48×2,0	18	0,964	1,927	112,73	20,7	1,0	2,0	122,4	28,3
200×48×2,5	18	1,0	2,5	141,56	16,9	1,0	2,5	138,81	28,2
200×48×3,0	18	1,0	3,0	164,25	14,8	1,0	3,0	154,65	28,1
250×48×1,5	19	0,869	1,304	80,02	28,5	0,976	1,464	103,66	28,5
250×48×2,0	19	0,952	1,904	113,30	22,9	1,0	2,0	126,80	28,3
250×48×2,5	19	1,0	2,5	144,06	18,4	1,0	2,5	142,5625	28,2
250×48×3,0	19	1,0	3,0	167,25	15,9	1,0	3,0	157,95	28,1
280×48×1,5	19	0,853	1,279	78,51	28,5	0,963	1,444	102,25	28,5
280×48×2,0	19	0,938	1,876	111,62	24,1	1,0	2,0	129,2	28,3
280×48×2,5	19	0,996	2,491	143,52	19,3	1,0	2,5	144,8125	28,2
280×48×3,0	19	1,0	3,0	167,25	16,6	1,0	3,0	160,05	28,1
300×49×1,5	18	0,813	1,220	74,84	29,1	0,951	1,427	103,32	29,1
300×49×2,0	18	0,903	1,805	107,40	25,8	1,0	2,0	134,60	28,9
300×49×2,5	18	0,964	2,409	138,83	20,5	1,0	2,5	150,31	28,8
300×49×3,0	18	1,0	3,0	167,25	17,5	1,0	3,0	165,75	28,7
100×60×1,5	19	0,880	1,321	96,90	30,0	1,0	1,5	125,77	35,7
100×60×2,0	19	0,960	1,921	137,33	21,9	1,0	2,0	148,80	35,5
100×60×2,5	19	1,0	2,5	174,06	18,1	1,0	2,5	171,81	35,4
100×60×3,0	19	1,0	3,0	203,25	15,9	1,0	3,0	193,95	35,3
150×60×1,5	19	0,827	1,240	90,97	35,7	0,979	1,469	127,27	35,7
150×60×2,0	19	0,913	1,826	130,58	25,9	1,0	2,0	156,80	35,5
150×60×2,5	19	0,972	2,430	169,20	21,0	1,0	2,5	179,06	35,4
150×60×3,0	19	1,0	3,0	203,25	18,1	1,0	3,0	200,55	35,3
200×60×1,5	22	0,837	1,256	95,92	35,7	0,947	1,420	123,06	35,7
200×60×2,0	22	0,924	1,848	137,64	29,4	1,0	2,0	163,8	35,5
200×60×2,5	22	0,983	2,457	178,46	23,5	1,0	2,5	185,31	35,4
200×60×3,0	22	1,0	3,0	212,25	20,1	1,0	3,0	206,55	35,3
250×60×1,5	22	0,804	1,206	92,11	35,7	0,919	1,379	119,51	35,7
250×60×2,0	22	0,895	1,790	133,33	32,8	1,0	2,0	170,6	35,5
250×60×2,5	22	0,957	2,392	173,74	25,8	1,0	2,5	191,0625	35,4
250×60×3,0	22	1,0	3,0	212,25	21,8	1,0	3,0	211,65	35,3
280×60×1,5	22	0,786	1,179	90,07	35,7	0,905	1,357	117,61	35,7
280×60×2,0	22	0,879	1,759	131,03	34,8	1,0	2,0	174,60	35,5
280×60×2,5	22	0,943	2,358	171,22	27,2	1,0	2,5	194,56	35,4
280×60×3,0	22	0,990	2,970	210,14	22,8	1,0	3,0	214,65	35,3
300×60×1,5	21	0,757	1,136	85,62	35,7	0,896	1,34	116,42	35,7
300×60×2,0	21	0,854	1,708	125,50	35,5	0,997	1,99	175,51	35,5
300×60×2,5	21	0,920	2,299	164,66	28,0	1,0	2,5	196,56	35,4
300×60×3,0	21	0,968	2,904	202,58	23,4	1,0	3,0	216,75	35,3
350×60×1,5	23	0,766	1,150	88,94	35,7	0,874	1,312	113,67	35,7
350×60×2,0	23	0,863	1,725	130,24	35,5	0,980	1,9595	172,43	35,5
350×60×2,5	23	0,928	2,321	170,86	30,2	1,0	2,5	202,06	35,4
350×60×3,0	23	0,977	2,931	210,29	25,1	1,0	3,0	221,55	35,3
400×60×1,5	22	0,726	1,089	83,19	35,7	0,855	1,283	111,19	35,7
400×60×2,0	22	0,827	1,655	123,26	35,5	0,964	1,928	169,66	35,5
400×60×2,5	22	0,896	2,241	162,73	32,2	1,0	2,5	207,06	35,4
400×60×3,0	22	0,947	2,842	201,06	26,6	1,0	3,0	226,05	35,3
280×75×1,5	24	0,728	1,092	58,43	44,7	0,835	1,253	79,625	44,7
280×75×2,0	24	0,792	1,584	144,94	44,5	0,962	1,923	211,06	44,5
280×75×2,5	24	0,864	2,159	193,50	38,8	1,0	2,5	261,06	44,4
280×75×3,0	24	0,916	2,749	241,22	32,0	1,0	3,0	287,25	44,3
350×75×1,5	20	0,615	0,923	45,68	44,7	0,803	1,204	76,54	44,7
350×75×2,0	20	0,674	1,347	117,86	44,5	0,935	1,870	205,18	44,5
350×75×2,5	20	0,754	1,886	161,50	43,4	1,0	2,5	272,56	44,4
350×75×3,0	20	0,814	2,441	204,41	35,4	1,0	3,0	297,45	44,3
400×75×1,5	20	0,589	0,883	43,72	44,7	0,782	1,173	74,59	44,7
400×75×2,0	20	0,648	1,296	113,40	44,5	0,918	1,836	201,46	44,5
400×75×2,5	20	0,732	1,829	156,58	44,4	0,990	2,475	272,25	44,4
400×75×3,0	20	0,792	2,377	199,10	37,7	1,0	3,0	304,35	44,3

Результати оптимізаційного розрахунку для С-подібних холодногнутих профілів компанії «БФ ЗАВОД»

Профіль, мм	Вихідне проектне рішення				Оптимальне проектне рішення за критерієм				
					$A_s - A_{s,red} \rightarrow \min$				$A_{s,red} \rightarrow \max$
	c , мм	χ_d	t_{red} , мм	$A_{s,red}$, мм ²	c_{min}^{opt} , мм	χ_d	t_{red} , мм	$A_{s,red}$, мм ²	c_{max}^{opt} , мм
100×48×2,0	20	1,0	2,0	121,0	15,7	1,0	2,0	112,40	28,3
150×48×2,0	20	1,0	2,0	121,0	18,3	1,0	2,0	117,6	28,3
100×60×2,0	20	0,975	1,951	141,44	21,9	1,0	2,0	148,80	35,5
150×60×2,0	20	0,930	1,859	134,80	25,9	1,0	2,0	156,80	35,5
150×60×2,5	20	0,988	2,469	174,35	21,0	1,0	2,5	179,06	35,4
200×60×2,0	20	0,893	1,787	129,52	29,4	1,0	2,0	163,8	35,5
200×60×2,5	20	0,955	2,387	168,56	23,5	1,0	2,5	185,31	35,4
200×60×3,0	20	1,0	3,0	206,22	20,1	1,0	3,0	206,55	35,3
200×65×1,5	–	–	–	–	38,7	0,926	1,390	84,30	38,7
200×65×2,0	–	–	–	–	33,5	1,0	2,0	182,0	38,5
200×65×2,5	20	0,917	2,292	173,35	26,5	1,0	2,5	205,31	38,4
200×65×3,0	–	–	–	–	22,5	1,0	3,0	228,75	38,3
250×60×2,0	20	0,863	1,725	125,09	32,8	1,0	2,0	170,6	35,5
250×60×2,5	20	0,927	2,318	163,69	25,8	1,0	2,5	191,06	35,4
250×60×3,0	20	0,975	2,924	201,00	21,8	1,0	3,0	211,65	35,3
250×65×1,5	–	–	–	–	38,7	0,899	1,349	81,83	38,7
250×65×2,0	20	0,820	1,639	127,03	37,5	1,0	2,0	190,0	38,5
250×65×2,5	–	–	–	–	29,3	1,0	2,5	212,31	38,4
250×65×3,0	–	–	–	–	24,6	1,0	3,0	235,05	38,3
250×70×1,5	–	–	–	–	41,7	0,875	1,312	81,64	41,7
250×70×2,0	–	–	–	–	41,5	0,995	1,989	206,55	41,5
250×70×2,5	20	0,848	2,120	170,93	32,9	1,0	2,5	233,81	41,4
250×70×3,0	20	0,901	2,701	212,73	27,5	1,0	3,0	258,75	41,3
300×60×3,0	20	0,953	2,858	196,47	23,4	1,0	3,0	216,75	35,3
300×70×1,5	–	–	–	–	41,7	0,850	1,275	79,35	41,7
300×70×2,0	–	–	–	–	41,5	0,974	1,949	202,34	41,5
300×70×2,5	20	0,821	2,052	165,48	35,9	1,0	2,5	241,31	41,4
300×70×3,0	20	0,876	2,627	206,85	29,7	1,0	3,0	265,35	41,3

Таким чином, задача оптимізації поперечних перерізів стержневих елементів із холодногнутих профілів формулюється як задача пошуку оптимального розміру одинарного відгину c за мінімізації визначеного детермінованого критерію якості (1.7) із врахуванням змінних стану, що визначаються відповідно до (1.1)–(1.6).

Результати оптимізаційного розрахунку одинарного відгину для сортаменту холодногнутих профілів С-подібного перерізу [4], які виготовляються групою компаній “Blachy Pruszyński”, наводяться у табл. 1.1, для сортаменту холодногнутих профілів С-подібного перерізу, які виготовляються компанією «БФ ЗАВОД», – у табл. 1.2, для сортаменту холодногнутих профілів С-подібного перерізу, які виготовляються компанією “STEELCO”, – у табл. 1.3.

Висновки. У роботі сформульована та вирішена задача оптимізації розміру одинарного відгину, що

підкріплюють полиці в стержневих елементах конструкцій із холодногнутих профілів. При цьому як критерій оптимальності розглянута лінійна згортка двох критеріїв: критерію мінімізації розрахункової площі поперечного перерізу елемента жорсткості, що забезпечує мінімальні витрати матеріалу під час виготовлення перерізу, а також критерію максимізації редукованої площі поперечного перерізу одинарного відгину, що визначає його понижено (за рахунок втрати стійкості за згинальною формою випучування) несучу здатність, іншими словами, критерію максимізації несучої здатності одинарного відгину.

Результати виконаних досліджень можуть служити рекомендаціями для компаній, що виготовляють холодногнуті профілі, а також рекомендаціями для створення національного сортаменту ефективних холодногнутих профілів, що сприятиме ширшому впровадженню цього класу конструкцій у практику будівництва.

Таблиця 1.3

Результати оптимізаційного розрахунку для С-подібних холодногнутих профілів компанії "STEELCO"

Профіль, мм	Вихідне проектне рішення				Оптимальне проектне рішення за критерієм				
					$A_s - A_{s,red} \rightarrow \min$				$A_{s,red} \rightarrow \max$
	c , мм	χ_d	t_{red} , мм	$A_{s,red}$, мм ²	c_{min}^{opt} , мм	χ_d	t_{red} , мм	$A_{s,red}$, мм ²	c_{max}^{opt} , мм
60×60×0,8	20	0,695	0,556	17,98	35,8	0,790	0,632	23,51	35,8
60×60×1,0	20	0,819	0,916	31,34	35,8	0,902	0,902	40,08	35,8
60×60×1,2	20	0,904	1,085	47,00	35,7	0,979	1,175	59,77	35,7
60×60×1,4	20	0,946	1,325	60,54	25,3	1,0	1,4	71,40	35,7
80×40×0,8	20	0,894	0,715	23,20	23,8	0,913	0,730	24,77	23,8
80×40×1,0	20	0,982	0,982	54,89	23,4	1,0	1,0	57,61	23,8
80×40×1,2	20	1,0	1,2	66,6	17,5	1,0	1,2	63,60	23,7
80×40×1,4	20	1,0	1,4	76,65	15,0	1,0	1,4	69,65	23,7
100×40×0,8	20	0,867	0,693	22,51	23,8	0,887	0,710	24,06	23,8
100×40×1,0	20	0,958	0,958	53,55	23,8	0,979	0,979	56,57	23,8
100×40×1,2	20	1,0	1,2	66,6	19,3	1,0	1,2	65,76	23,7
100×40×1,4	20	1,0	1,4	76,65	16,4	1,0	1,4	71,61	23,7
150×50×0,8	20	0,683	0,547	17,81	29,7	0,747	0,597	21,41	29,8
150×50×1,0	20	0,808	0,808	30,79	29,8	0,864	0,864	36,63	29,8
150×50×1,2	20	0,883	1,059	44,17	29,7	0,946	1,135	54,28	29,7
150×50×1,4	20	0,913	1,279	82,79	28,4	1,0	1,4	102,41	29,7
150×50×1,5	–	–	–	–	26,2	1,0	1,5	105,86	29,7
150×50×2,0	20	1,0	2,0	125,0	19,5	1,0	2,0	124,0	29,5
150×50×2,5	–	–	–	–	16,1	1,0	2,5	141,81	29,4
150×50×3,0	–	–	–	–	14,2	1,0	3,0	158,85	29,3
200×50×0,8	20	0,633	0,506	16,50	29,8	0,701	0,560	20,11	29,8
200×50×1,0	20	0,765	0,765	29,16	29,8	0,825	0,825	34,98	29,8
200×50×1,2	20	0,844	1,013	42,25	29,7	0,912	1,094	52,33	29,7
200×50×1,4	20	0,876	1,226	79,37	29,7	0,974	1,364	100,74	29,7
200×50×1,5	–	–	–	–	29,7	0,995	1,493	110,49	29,7
200×50×2,0	20	0,976	1,952	121,97	22,0	1,0	2,0	129	29,5
200×50×2,5	20	1,0	2,5	151,56	17,9	1,0	2,5	146,31	29,4
200×50×3,0	20	1,0	3,0	176,25	15,6	1,0	3,0	163,05	29,3
250×50×1,4	20	0,844	1,181	76,49	29,7	0,948	1,327	98,02	29,7
250×50×1,5	–	–	–	–	29,6	0,970	1,455	107,64	29,6
250×50×2,0	20	0,949	1,898	118,64	24,4	1,0	2,0	133,8	29,5
250×50×2,5	20	1,0	2,5	151,56	19,6	1,0	2,5	150,57	29,4
250×50×3,0	20	1,0	3,0	176,25	16,9	1,0	3,0	166,95	29,3
300×87×1,5	–	–	–	–	51,9	0,768	1,152	76,19	51,9
300×87×2,0	18	0,595	1,190	65,42	51,7	0,911	1,822	147,59	51,7
300×87×2,5	19	0,653	1,633	157,75	51,5	1,0	2,5	322,81	51,6
300×87×3,0	21	0,769	2,306	223,12	41,8	1,0	3,0	352,65	51,5
350×67×2,0	13	0,507	1,013	73,47	39,7	0,964	1,928	191,21	39,7
350×67×2,5	14	0,642	1,604	114,86	36,0	1,0	2,5	234,06	39,6
350×67×3,0	15	0,742	2,227	157,52	29,7	1,0	3,0	256,35	39,5
350×67×4,0	18	0,911	3,644	255,09	23,0	1,0	4,0	300,0	39,2
400×90×1,5	–	–	–	–	53,7	0,707	1,061	70,74	53,7
400×90×2,0	16	0,462	0,925	49,57	53,5	0,863	1,726	141,43	53,5
400×90×2,5	17	0,494	1,236	120,67	53,4	0,959	2,396	318,13	53,4
400×90×3,0	19	0,639	1,918	187,46	50,8	1,0	3,0	388,65	53,3
400×90×4,0	23	0,833	3,334	326,68	37,4	1,0	4,0	449,61	53,0

Список літератури:

1. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 ЄВРОКОД 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів (EN 1993-1-3:2006, IDT). Київ, Мінрегіонбуд України, 2012.
2. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2012 ЄВРОКОД 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи (EN 1993-1-5:2005, IDT). Київ, Мінрегіонбуд України, 2012.
3. Белов І.Д. Розробка та впровадження ефективних конструкцій будівель із тонкостінних холодногнутих профілів: сучасний стан проблеми та програма досліджень / І.Д. Белов, В.В. Юрченко. Збірник наукових праць «Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди», Вип. 20. Рівне, 2010. С. 364–369.
4. Сортамент холодноформованих профілей для легких сталевих тонкостінних конструкцій виробників України. УЦСС-014-16, 2016. 32 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ОТГИБОВ, ПОДКРЕПЛЯЮЩИХ ПОЛКИ, В СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

В статье рассматривается задача оптимизации размера одинарного отгиба, подкрепляющего полки, в стержневых элементах конструкций из холодногнутого профиля. В качестве критерия оптимальности использована линейная свертка критерия минимизации расчетной площади отгиба и критерия максимизации редуцированной площади отгиба, определяющей его пониженную (за счет потери устойчивости при изгибном выпучивании) несущую способность. Результаты выполненных исследований служат рекомендациями для компаний-изготовителей холодногнутого профиля, а также рекомендациями для создания национального сортамента эффективных холодногнутого профиля, что будет способствовать более широкому внедрению исследуемого класса конструкций в практику строительства.

Ключевые слова: несущая способность, холодногнутый профиль, задача оптимизации, одинарный отгиб, элемент жесткости, потеря устойчивости формы сечения, линейная свертка критериев.

SIZE OPTIMIZATION OF SINGLE EDGE FOLD FOR COLD-FORMED STRUCTURAL MEMBERS

Optimization problem for single edge fold size in cold-formed structural members has been considered by the paper. Linear convolution of criteria, namely minimization criterion of design area of stiffener cross-section and maximization criterion effective area of stiffener cross-section which defines its reduced load-bearing capacity due to distortional buckling has been used as optimization criterion. Results of performed study can be served as design recommendations for companies-manufacturers of cold-formed profiles as well as recommendations in scope of elaboration national standard – assortments of effective cold-formed profiles. It will favour wider implementation of cold-formed building structures in building practice.

Key words: load-bearing capacity, cold-formed profile, optimization problem, single edge fold, stiffener, distortional buckling, linear convolution of criteria.

УДК 624.15

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/34>**Блащук Н.В.**

Вінницький національний технічний університет

Маєвська І.В.

Вінницький національний технічний університет

Тихолаз О.О.

Вінницький національний технічний університет

ВПЛИВ ГЛИБИНИ ПІДВАЛУ НА КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ СТІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ ПІД ЗОВНІШНІ СТІНИ

Виконано аналіз впливу глибини підвалу на зміну напружено-деформованого стану конструкцій стіни підвалу та стрічкового фундаменту в умовах різної піддатливості основи та різної поверховості будівлі. Показано, що у разі збільшення горизонтального тиску збільшується зсувне зусилля по підшві фундаменту, згинальні моменти в рівні підшви і в конструкції стіни, зменшується несуча здатність основи. За глибини підвалу більше 3 м і поверховості до трьох поверхів потрібні конструктивні заходи щодо підвищення міцності порівняно з розрахунком за другою групою граничних станів, що призводить до збільшення витрат до 30% на відносно жорсткій основі і до 60% на піддатливій основі. Надані рекомендації щодо покращення роботи фундаменту і економії витрат.

Ключові слова: стрічковий фундамент, тиск ґрунтів на огороження, зсув по підшві, несуча здатність.

Постановка проблеми. Останнім часом під час проектування і будівництва будинків та споруд збільшилась частка об'єктів, що мають підвищену глибину підвалів. Під час проектування стрічкових фундаментів під зовнішні стіни будинків з неглибокими підвалами або високим цоколем, коли перепад висот між відміткою підлоги підвалу і зовнішньою відміткою планування незначний (у таких випадках він не перевищує 1,5–2,0 м) досить визначити розмір підшви за умовами другої групи граничних станів. Забезпечивши тиск під підшвою не більше розрахункового опору ґрунту основи і не перевищення осіданням граничного значення, можна забезпечити загальну надійність роботи основи.

Якщо ж перепад висот між відміткою підлоги підвалу і зовнішньою відміткою планування збільшити, то досить швидко збільшується тиск ґрунту на стіну підвалу, що може спричинити негативні наслідки. У результаті впливу тиску ґрунту зворотної засипки у разі недостатньої товщини стіни і ширини фундаменту можливі деформації, зсув і нахил підшви, просідання ґрунту під підшвою з боку підвалу. Це може призвести до втрати стійкості основи або конструкції стіни і її подальшого руйнування [1; 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За наявності підвалу фундаментна стіна є одночасно

стіною підвалу, що працює спільно з елементами споруди [1–3]. Зовнішні стіни підвалів, сперті на фундаменти, розраховують за першою групою граничних станів – на стійкість положення стін проти зсуву по підшві фундаментів (за відсутності спеціальних конструктивних заходів, що утримують стіну від зсуву); на стійкість основи фундаменту стіни; на міцність елементів конструкцій; за другою групою граничних станів – на деформації основи фундаментів стін, на утворення тріщин в елементах конструкцій. Усі ці розрахунки виконуються аналогічно до розрахунків вільно стоячих підпірних стін [2–4].

Головними аспектами прийнятності розрахунків є адекватне визначення активного тиску ґрунту на стіну та прийняття розрахункової схеми конструкції стіни та фундаменту [5].

Розрахунковою схемою, прийнятою для стін підвалів у нормативних документах [2; 3], є балкова плита з умовним защемленням на рівні сполучення з фундаментом і з шарнірною опорою в рівні спірання перекриття з урахуванням можливого перерозподілу зусиль від повороту фундаменту, спричиненого піддатливістю ґрунту основи, та переміщення стін у разі завантаження території, прилеглої до підвалу.

Якщо розрахункова схема стіни не відповідає прийнятій у методиках норм, наприклад харак-

тер спирання плити перекриття над підвалом не шарнірний, то визначення внутрішніх зусиль у системі може бути виконане лише за допомогою математичного моделювання у ліцензованих програмних комплексах.

Для проектувальника важливо знати, як у разі використання підвалів великої глибини під малоповерхові будинки змінюється напружено-деформований стан фундаментних конструкцій, яких додаткових витрат потребує забезпечення їх надійної роботи і якими методами можна досягти мінімізації цих витрат.

Метою цієї роботи є визначення впливу глибини підвалу на зміну напружено-деформованого стану конструкцій стін підвалу та стрічкового

фундаменту в умовах різної піддатливості основи та різної поверховості будинку.

Поставлені задачі:

– порівняти рішення фундаментів та стін підвалу, одержані за другою групою граничних станів, з рішеннями, одержаними з урахуванням граничних нерівностей першої групи;

– запропонувати заходи з покращення роботи стін підвалу та стрічкових фундаментів на дію горизонтального тиску ґрунту з метою одержання більш економічного рішення.

Для вирішення поставлених задач були виконані ручні розрахунки за методикою норм та математичне моделювання будинку стінової конструкції з підвалом.

Таблиця 1

Програма досліджень напружено-деформованого стану конструкцій стрічкових фундаментів та стіни підвалу

Серія розрахунків	Поверховість будинку	Вид ґрунту під подошвою	Глибина підвалу, м
1	3 поверхи	Пісок сер. крупності: $\varphi_{II}=34^\circ; c_{II}=1 \text{ кПа}; E=29 \text{ МПа}$	3,0
			4,0
			5,0
2	3 поверхи	Супісок: $\varphi_{II}=26^\circ; c_{II}=7 \text{ кПа}; E=7,4 \text{ МПа}$	2,0
			3,0
			4,0
3	3 поверхи	Суглинок: $\varphi_{II}=21^\circ; c_{II}=23 \text{ кПа}; E=14 \text{ МПа}$ $\gamma_{II}=18,5 \cdot \text{кН/м}^3; I_L=0,4$	5,0
			3,0
			4,0
	2 поверхи		5,0
			3,0
			4,0
	1 поверх		5,0
			3,0
			4,0

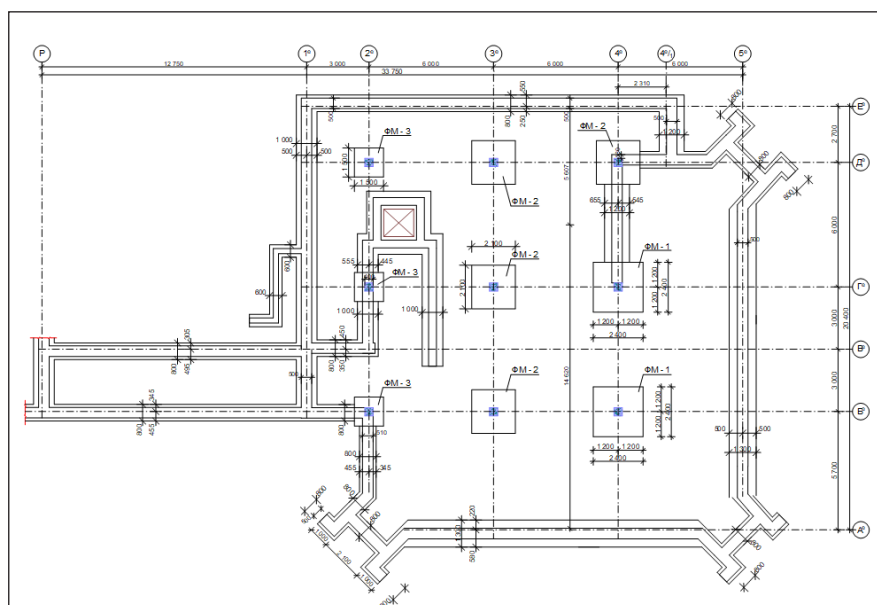


Рис. 1. План фундаментів будівлі

Виклад основного матеріалу дослідження.

У таблиці 1 наведена програма досліджень, яка виконана на прикладі конкретного будинку за допомогою програмного комплексу «Ліра-САПР 2017» та паралельних ручних розрахунків за методикою норм.

Під час дослідження 1 та 2 серій варіюється глибина підвалу, а також піддатливість ґрунту основи (у першій серії модуль деформації піщаного ґрунту основи $E = 29$ МПа, в другій серії

модуль деформації глинистого ґрунту основи $E = 7,4$ МПа). Поверховість будинку (3 поверхи) прийнята сталюю. В 3 серії розрахунків ґрунт основи прийнятий зі сталими характеристиками (середній модуль деформації $E = 14$ МПа), а варіюється поверховість будинку.

Для аналізу впливу глибини підвалу була обрана неповнокаркасна будівля з внутрішніми залізобетонними колонами з сіткою 6×6 м і зовнішніми цегляними стінами товщиною 510 мм.

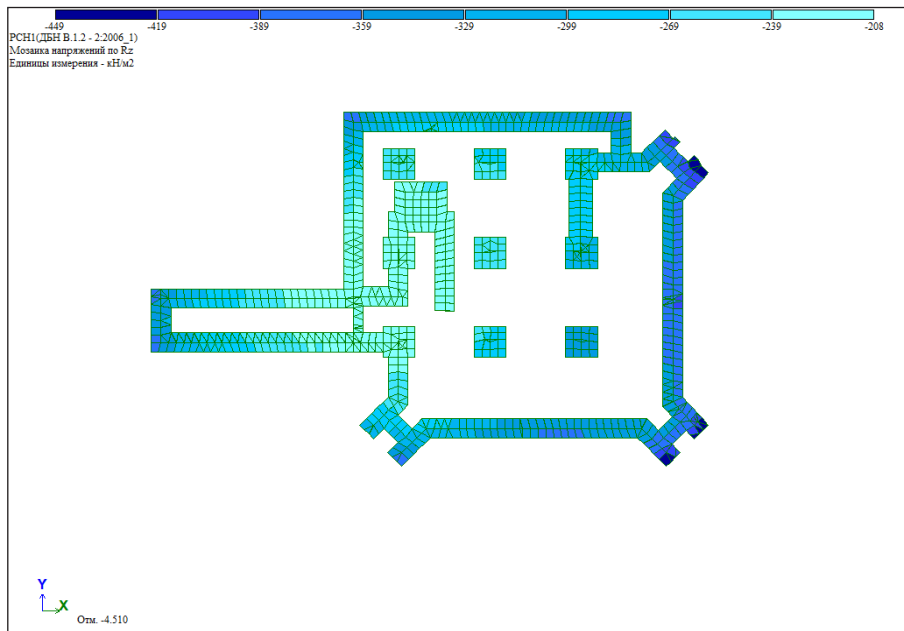


Рис. 2. Контактні напруження під подошвою фундаментів триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м

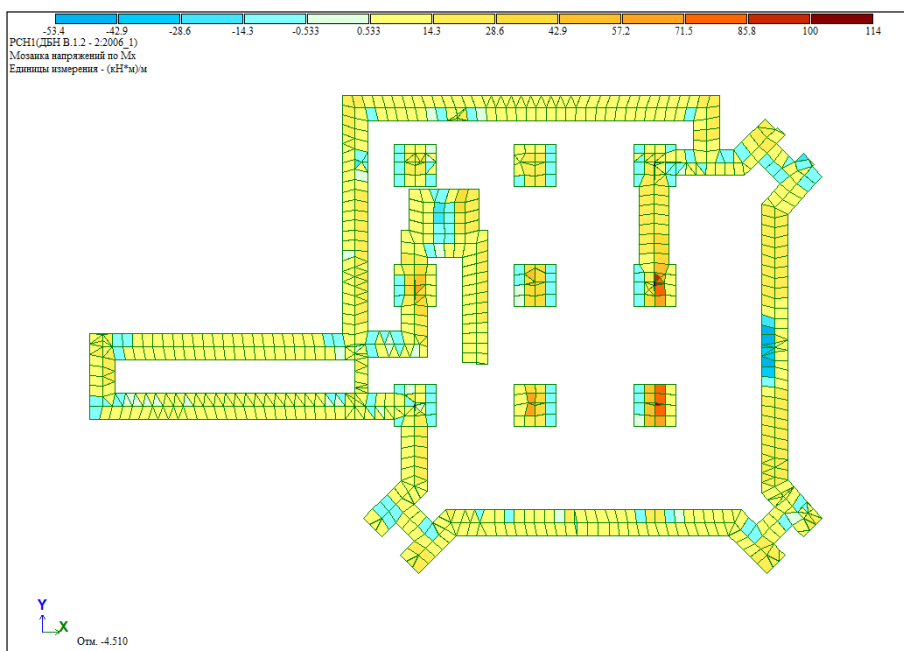


Рис. 3. Згинальні моменти M_x у конструкції фундаментів триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м

Перекриття монолітні залізобетонні. Дах суміщений. Розміри будівлі 20,4х21,0 м.

Стіни підвалу з бетонних фундаментних блоків товщиною 500 мм. Фундаменти під стіни монолітні стрічкові, фундаменти під колони стовпчасті з монолітного залізобетону. На рис. 1 наведений план фундаментів. Для розрахунку обрані стіни по осях А та 5 з вантажною площею для фундаменту $6,0/2 = 3,0$ (м²).

У результаті просторового моделювання у програмному комплексі «ЛІРА-САПР 2017» з вико-

ристанням підпрограми комплексу «Ґрунт» були одержані кольорові діаграми внутрішніх зусиль у фундаментах та стінах підвалу з варіюванням параметрів згідно з програмою досліджень. Паралельно проводились ручні розрахунки, оскільки розрахункова схема стіни підвалу відповідає прийнятій у нормах.

На рис. 2–5 для прикладу наведені результати розрахунків для триповерхового варіанту будівлі на піщаній основі для глибини підвалу 3 м.

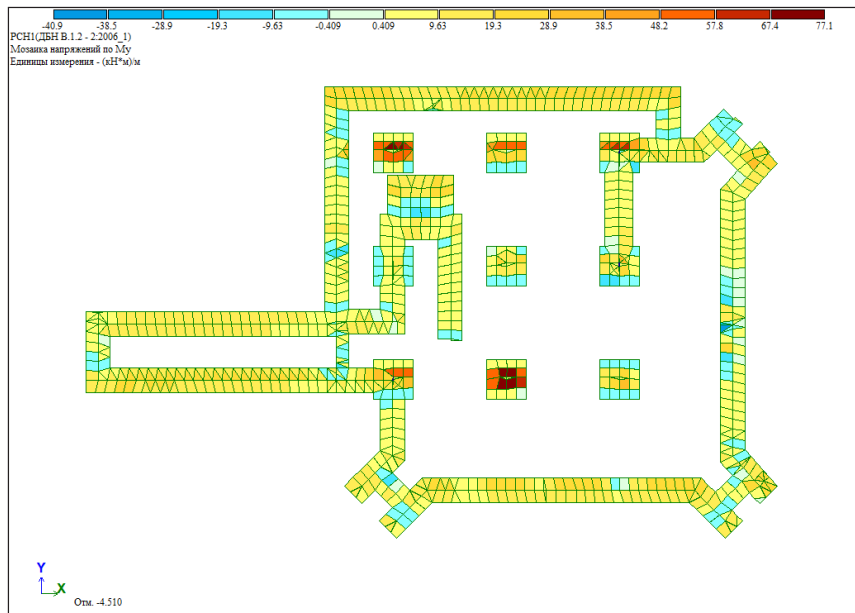


Рис. 4. Згинальні моменти M_u у конструкції фундаментів триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м

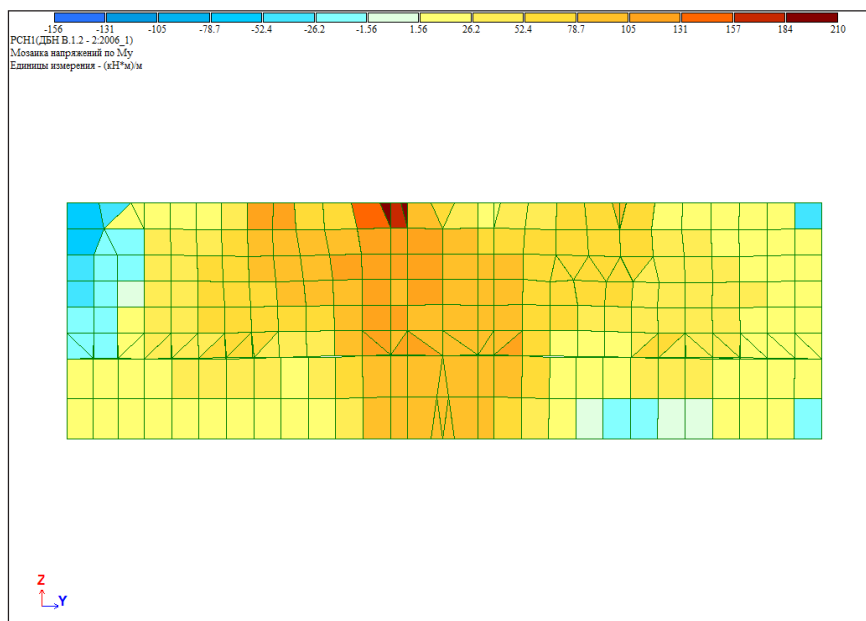


Рис. 5. Згинальні моменти у конструкції стіни підвалу триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м

Розрахунки виконувались у такій послідовності:

1. Підбирались розміри підшови фундаментів лише за другою групою граничних станів без урахування активного тиску ґрунту на стіну підвалу з умови $p \leq R$.

2. Перевірялись габаритні розміри прийнятої з розрахунку за другою групою граничних станів конструкції фундаменту розрахунками за першою групою граничних станів з урахуванням активного тиску ґрунту, визначались згинальні моменти і поперечні сили в елементах фундаменту та стіни.

Виконані розрахунки дали змогу проаналізувати вплив глибини підвалу, виду ґрунту під підшовою фундаменту та величини навантаження

(поверховості) будівлі на напружено-деформований стан підземних конструкцій.

Розрахунки перших двох серій, коли розглядалась триповерхова будівля і варіювалась піддатливість ґрунту під підшовою та глибина підвалу, показали такі результати [6].

Умова міцності на зсув по підшові виконується у всіх випадках для розміру підшови, підбраного за другою групою граничних станів (рис. 6). Це можна пояснити достатністю вертикального привантаження фундаменту для триповерхової будівлі.

За глибини підвалу більше 3,0 м (а для супіску з модулем деформації $E = 7,4$ МПа в основі вже за глибини підвалу 3,0 м) не виконується умова міцності за несучою здатністю основи у разі дії

вертикального навантаження (рис. 6). Це пояснюється переважно наявністю горизонтального складника навантаження, що збільшується із збільшенням глибини підвалу, в результаті чого зростає кут нахилу рівнодіючого зусилля δ , який суттєво знижує міцність ґрунту основи у разі дії вертикального складника навантаження.

У разі збільшення глибини підвалу зростають значення згинального моменту в рівні підшови фундаменту M_0 та максимального прольотного моменту в стіні

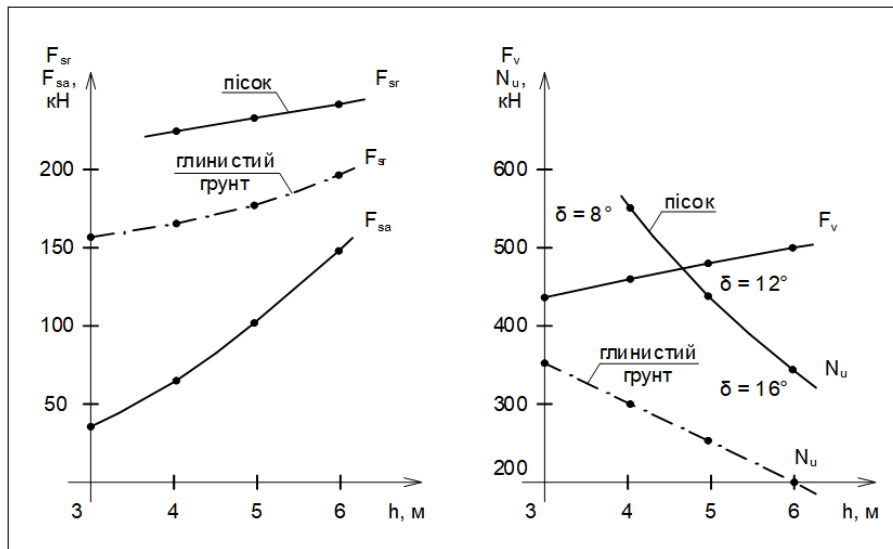


Рис. 6. Перевірка виконання граничних нерівностей на зсув по підшові фундаменту та за несучою здатністю основи у разі зміни глибини підвалу та ґрунту основи

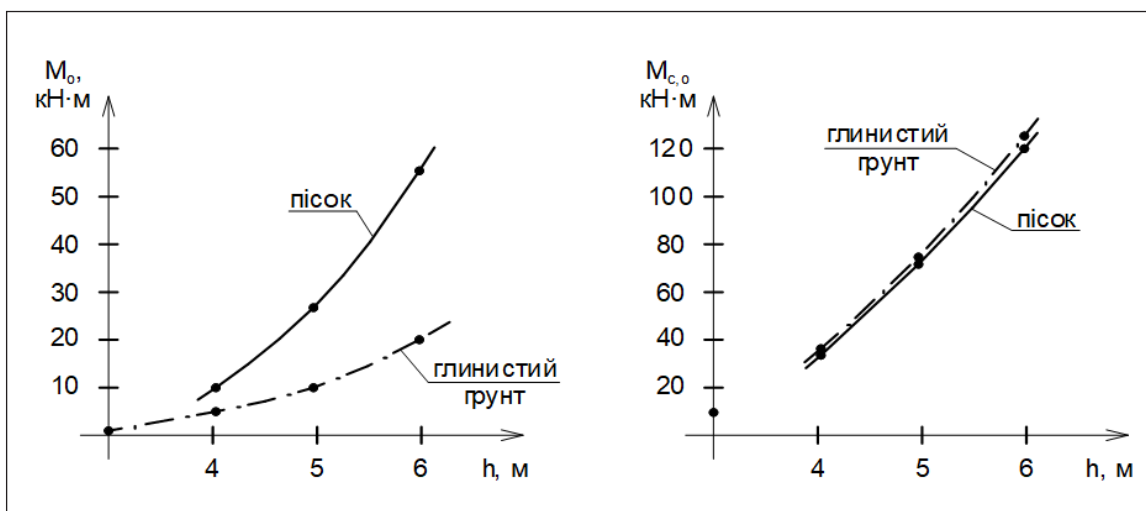


Рис. 7. Зміна згинального моменту в рівні підшови фундаменту M_0 та максимального прольотного моменту в стіні підвалу $M_{c,0}$ залежно від зміни глибини підвалу та ґрунту основи

підвалу $M_{c,0}$ (рис. 7), причому зміна згинального моменту у стіні практично не залежить від підатливості основи. За глибини підвалу більше 3 м виникає перевантаження стіни підвалу (внаслідок збільшення ексцентриситету прикладання навантаження).

Розрахунки третьої серії, коли властивості ґрунту основи не мінялись, а варіювалась поверховість будівлі, показали таке:

умова міцності на зсув по підшві для розміру підшви, підбраного за другою групою граничних станів (рис. 8), виконується у всіх випадках для триповерхового будинку. Для двоповерхового будинку відсутність зсуву по підшві забезпечена для відмітки підлоги підвалу -3,000 м та -4,000 м, а для одноповерхового будинку лише для відмітки підлоги підвалу -3,000 м.

Для дво- та одноповерхових будинків наявність горизонтального складника навантаження, що збільшується зі збільшенням глибини підвалу, в результаті чого зростає кут нахилу рівнодіючого зусилля δ (рис. 8), керівним фактором втрати несучої здатності основи стає зсув по підшві.

У разі зменшення поверховості зменшуються значення згинального моменту в рівні підшви фундаменту M_0 та зростають значення максимального прольотного моменту в стіні підвалу $M_{c,0}$ (рис. 9).

Зі зменшенням поверховості і збільшенням глибини підвалу зусилля в стіні стають неприйнятними.

У цілому виконане дослідження дало змогу зробити такі висновки:

1. Конструктивне рішення стрічкового фундаменту під зовнішню стіну будинку з підвалом,

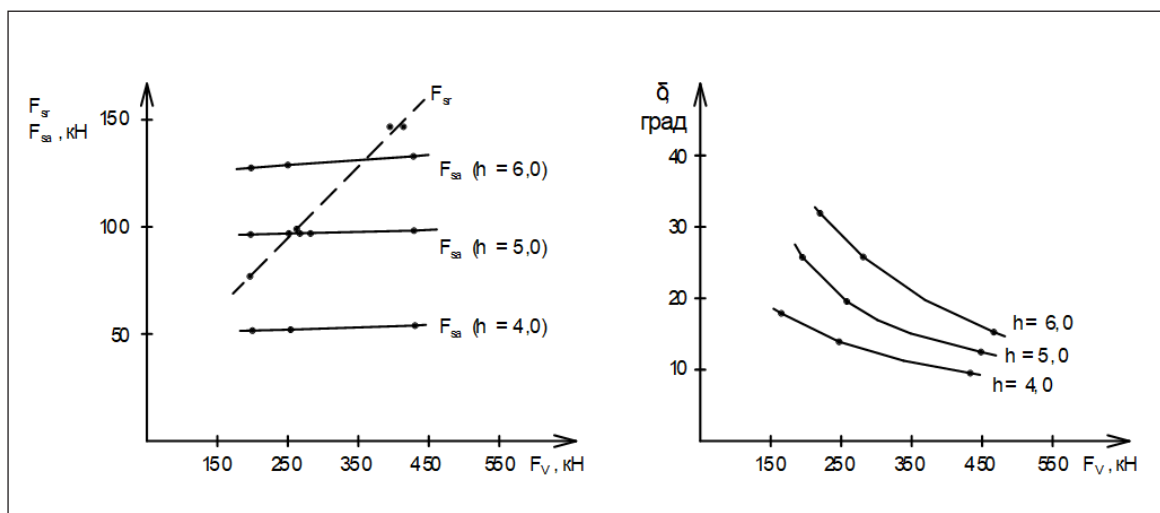


Рис. 8. Перевірка виконання граничних нерівностей на зсув по підшві фундаменту та зміна кута нахилу рівнодіючого навантаження на фундамент у разі зміни глибини підвалу та поверховості будинку

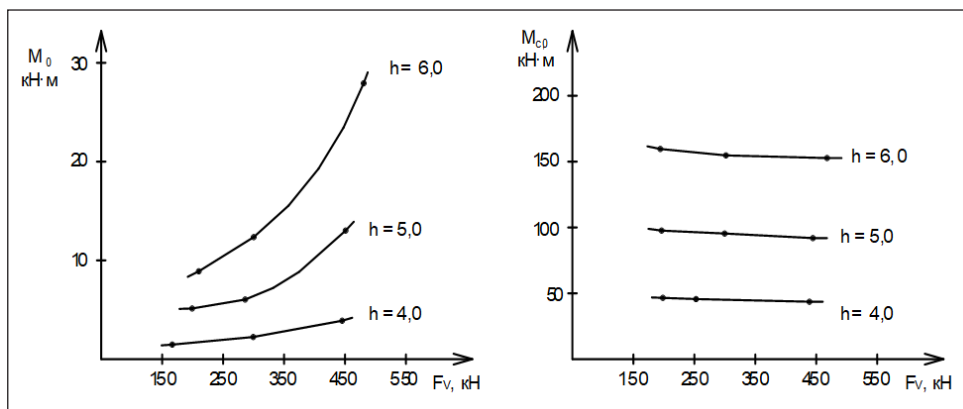


Рис. 9. Зміна згинального моменту в рівні підшви фундаменту M_0 та максимального прольотного моменту в стіні підвалу $M_{c,0}$ залежно від зміни глибини підвалу та поверховості будинку

прийняте на підставі розрахунку лише за другою групою граничних станів, за глибини підвалу більше 3 м і поверховості будинку менше трьох поверхів, потребує коригування, при цьому для більш жорсткої основи потрібне збільшення об'єму бетону до 34%, для більш піддатливої основи на 26–63%.

2. Збільшення глибини підвалу призводить до збільшення зусилля зсуву по підшві і виникнення додаткових згинальних моментів як у плитній частині фундаменту, так і в стіні підвалу. Для триповерхового будинку умова міцності на зсув по підшві виконується навіть за значної глибини підвалу завдяки наявності достатнього привантаження від ваги будинку.

3. Збільшення глибини підвалу призводить до зменшення несучої здатності ґрунту основи на дію вертикального навантаження за рахунок збільшення кута нахилу рівнодіючого навантаження.

4. Зменшення поверховості призводить до зменшення опору фундаменту на зсув по підшві і

виникнення додаткових згинальних моментів як у плитній частині фундаменту, так і в стіні підвалу.

5. Зменшення поверховості призводить до зростання кута нахилу рівнодіючого навантаження, завдяки чому керівним фактором втрати несучої здатності основи стає зсув по підшві.

6. Для покращення роботи фундаменту та стіни підвалу для глибоких підвалів можна дати такі рекомендації:

- забезпечення у разі зворотної засипки збільшення кута внутрішнього тертя місцевого ґрунту за рахунок його ретельного ущільнення з контролем характеристик міцності або заміни місцевого ґрунту засипки на ґрунт з підвищеним кутом внутрішнього тертя, пісок або щебінь;

- збільшення висоти цоколя будівлі, за рахунок чого зменшується висота засипки;

- влаштування навколо будівлі суцільного приямку, що зменшує висоту засипки;

- для зменшення згинальних моментів у конструкції стіни підвалу встановлення фундаментної плити з ексцентриситетом у бік ґрунту засипки, що надає додаткового оберненого згинального моменту від ґрунту засипки.

Список літератури:

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения : справочник проектировщика / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. Москва : Стройиздат, 1985. 480 с.
2. Проектирование подпорных стен и стен подвалов. Москва : Стройиздат, 1990. 104 с.
3. ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014. Настанова з проектування підпірних стін. Київ, Мінрегіон України, 2015. 83 с.
4. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд (зі зміною № 1 та № 2). Київ, Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с.
5. Лазебник Г.Е. Давление грунта на сооружения. Разработка аппаратуры и проверка методик экспериментального определения давления. Результаты опытных исследований. Рекомендации для расчетов. Киев, 2005. 243 с.
6. Тихолаз О.О. Особливості розрахунку стрічкових фундаментів будівель з глибокими підвалами. Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22–23 березня 2019 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/7539> (дата звернення: 21.05.2019).

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПОДВАЛА НА КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА ПОД ВНЕШНИЕ СТЕНЫ

Выполнен анализ влияния глубины подвала на изменение напряженно-деформированного состояния конструкций стены подвала и ленточного фундамента в условиях разной податливости основания и разной этажности здания. Показано, что при увеличении горизонтального давления увеличивается сила сдвига по подошве фундамента, изгибающие моменты в уровне подошвы и в конструкции стены, уменьшается несущая способность основания. При глубине подвала больше 3 м этажности до трёх этажей необходимы конструктивные мероприятия по повышению прочности по сравнению с расчётом по второй группе предельных состояний, что приводит к увеличению затрат до 30% на относительно жёстком основании и до 60% на податливом основании. Даны рекомендации по улучшению работы фундамента и экономии затрат.

Ключевые слова: ленточный фундамент, давление грунтов на ограждения, сдвиг по подошве, несущая способность.

THE INFLUENCE OF BASEMENT DEPTH ON A CONSTRUCTIVE SOLUTION OF STRIP FOUNDATION UNDER EXTERNAL WALLS

The analysis of the influence of the basement depth on the change in the stress-strain state of the structures of the basement wall and the strip foundation under the conditions of different pliability of the base and different heights of the building is carried out. It is shown that as the horizontal pressure increases, the shear force along the base of the foundation increases, bending moments in the level of the base and in the wall structure, and the bearing capacity of the base decreases. With a basement depth of more than 3 m and up to three floors, constructive measures are needed to increase strength as compared with the second group of limiting conditions, which leads to an increase in costs of up to 30% on a relatively hard base and up to 60% on a compliant base. Recommendations for improving the work of the foundation and cost savings are given.

Key words: *strip foundation, soil pressure on the fence, offset on the soles, bearing capacity.*

Степаненко Н.А.

Бендерский политехнический филиал

Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко (Молдова)

Агафонова И.П.

Бендерский политехнический филиал

Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко (Молдова)

Дмитриева Н.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
АРМИРОВАНИЯ СКЛОНОВ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ
МАТЕРИАЛАМИ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ**

В статье описаны основные причины потери стойкости склонов. Проведен анализ влияния конструктивно-технологических факторов на прочность откоса с целью обнаружения тех, которые имеют наибольшее влияние. В дальнейшем планируется осуществить проверку этого влияния экспериментально. При проведении экспериментальных исследований была подготовлена экспериментальная «модель» откоса. Определены факторы, которые показали свое влияние на устойчивость армированных откосов.

Ключевые слова: армирование, геосинтетик, прочность, склоны, грунт, факторы.

Постановка проблемы. Для этого сначала рассмотрим основные причины потери стойкости склонов: старение естественной опоры массива почвы в результате разработки котлованов, траншей, подмыва откоса и т. п.; увеличение внешней нагрузки на откос (строительство сооружений на откосе или вблизи его бровки); устройство недопустимо крутого откоса; увеличение удельного веса почвы в призме обрушения в результате заполнения водой его пор (в случаях, когда почва не полностью насыщена водой); влияние повышения уровня воды на почву; увеличение гидродинамического давления воды, которая выходит через поверхность откоса; снижение сцепления и трение почвы при ее увлажнении, что часто обусловлено поднятием уровня подземных вод, а также при взрыхлении в результате промерзания и оттаивания; влияние движущегося транспорта, забивка свай, проявлении сейсмической активности и др. [1].

Нарушение прочности откосов часто является результатом нескольких причин.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из способов повышения устойчивости земляных откосов является их армирование геосинтетическими материалами. В последнее время такая технология получила широкое распространение [2]. Однако параметры такой технологии установлены без проведения системных научных

исследований, которые бы позволили выбрать их оптимальную величину. Анализ известных исследований позволил сформулировать гипотезу о влиянии технологических факторов на показатели прочности армированных откосов. Результаты системных научных исследований дают возможность определить наиболее значимые факторы и их соотношения при установке откосов с необходимыми параметрами. Очевидно, что для разных условий устройства откосов такое соотношение будет отличаться. Использование обнаруженного оптимального соотношения факторов позволит устанавливать откосы, способные выдерживать большие нагрузки.

Постановка задания. Целью статьи является исследование конструктивно-технологических решений укрепления откосов с использованием геосинтетических материалов.

Изложение основного материала исследования. Для того чтобы разработать эффективную технологию армирования откосов с применением геосинтетических материалов, необходимо было проанализировать влияние конструктивно-технологических факторов на прочность откоса и обнаружить те, которые имеют наибольшее влияние и проверить это влияние экспериментально.

При армировании откосов геосинтетическими материалами одним из параметров, который определяет технологию процесса, является прочность

формируемого откоса [3]. Чем большую надежность конструкции мы хотим получить, тем сильнее осложняется технологический процесс. При установке откосов, в которых угол откоса меньше или равняется углу внутреннего трения почвы, технология сводится всего лишь к отсыпанию, без принятия мер по повышению стойкости. В противном случае технология существенно изменяется. Необходимо прибегать к армированию откосов. Это ведет к повышению материалоемкости за счет внедрения в массив откоса армирующих прослоек. Также растет трудоемкость ручных работ, работы машин и механизмов. Наличие всех этих технологических процессов по увеличению прочности откосов повышенной крутизны повлияет на сроки выполнения работ.

Прочность откосов насыпи изменяется в широких пределах. В основном она зависит от таких конструктивно-технологических факторов:

- длина заведения армирующего полотна за кривую скольжения, L (мм);
- величина вертикального шага армирования, h (мм);
- количество армирующих слоев, n (шт);
- прочность армирующего материала, $R_{гм}$ (Кн/м);
- внешняя нагрузка, которая действует на призм обрушения откоса, N (Кн/м²);
- формируемый угол откоса (град);
- высота откоса, H (мм);
- влажность засыпаемой почвы, w (%);
- связность почвы;
- пористость засыпаемой почвы, n (%);
- степень уплотнения почвы, K_u .

Условно их можно разделить на свойства почвы, армирующего материала и на конструктивно-технологические особенности армогрунтовой конструкции в целом. Каждый из перечисленных выше факторов в какой-то степени влияет на прочность откосов.

Найдено большое количество факторов, влияющих на исследуемый параметр, (прочность откоса) требовалось отобрать наиболее значимые из них. Потому что, если исследовать влияние всех факторов, количество экспериментов должно было быть непреодолимо большим. Следовательно, на первом этапе работы была сделана попытка обнаружить наиболее значимые факторы путем анализа известных исследований, сведений, опубликованных в литературных источниках и логических рассуждений.

Для выявления наиболее значимых факторов были рассмотрены каждый из них и обнаружена

степень влияния на прочность. Те из них, которые в наименьшей степени влияли на общую прочность откосов, мы не включали в план экспериментальных исследований.

Одним из факторов, который существенно влияет на прочность откосов, является длина заведения армирующего геоматериала за потенциальную кривую скольжения L . Слои армирования в каждом горизонте должны пересекать потенциальные поверхности скольжения, обеспечивая при этом жесткую фиксацию их в стойкой части грунтового массива. Если не выполняется условие жесткой фиксации, то есть длина заведения армирующего материала в стойкую часть откоса не достаточна, существует опасность обрушения. При этом усилия сдвигов превосходят силы сцепления между почвой засыпки и армирующим материалом. Если делать значительный запас прочности, стойкость откоса, конечно же, будет обеспечиваться, но в этом случае возможен значительный перерасход армирующего материала. Кроме расходов на геоматериал, это влечет за собой изменение некоторых технологических параметров. Это увеличение объемов земляных работ, трудоемкости механизированных и ручных процессов. Как видно из вышесказанного, подбор оптимальной длины заведения армирующего геоматериала за потенциальную кривую скольжения является одним из наиболее значимых факторов. Следовательно, такой фактор необходимо включить в план эксперимента.

Величина вертикального шага армирования h практически во всех известных разработках изменялась незначительно и находилась в пределах 0,5–0,7 м. Однако выявление оптимальной толщины армированного слоя может обеспечить уменьшение трудоемкости механизированных и ручных процессов и затраты армирующего геоматериала. Поэтому мы посчитали, что величина вертикального шага армирования является значимым фактором и ее необходимо включить в план экспериментальных исследований.

Такой фактор, как количество армируемых слоев n , зависит от высоты откоса. Он определяется как часть от высоты откоса, разделенная на вертикальный шаг армирования. Очевидно, что количество армирующих слоев влияло и на технологические показатели процесса и на прочность. С его изменением изменится много технологических параметров. Мы посчитали, что исследование влияния этого фактора на прочность откосов имеет большое практическое значение, поэтому мы включили его в план экспериментальных исследований.

Нагрузка N , прилагаемая к откосу, в большинстве известных случаев нормальная, то есть прикладывается вертикально. В армогрунтовом массиве в процессе работы возникают касательные напряжения. Эти напряжения должны воспринимать армирующие прослойки. Изменение нагрузки может влиять на смену многих технологических факторов. С изменением нагрузки меняются и требования прочности откоса. Поэтому мы исследовали влияние нагрузки на стойкость армированного откоса.

Как говорилось выше, армирующие прослойки должны воспринимать нагрузки, которые возникают в процессе работы армогрунтовой конструкции. Поэтому очень важно было подобрать геосинтетический материал, который отвечал характеристикам по прочности и стойкости и в планируемый эксперимент включали такой фактор, как тип армирующего материала.

Формируемый угол армированного откоса в значительной мере влияет на стойкость насыпи, потому что, чем он ближе к 90° , тем большей становится призма обрушения. Массу почвы в объеме призмы обрушения необходимо зафиксировать. Разработка технологии армирования откосов значительной высоты с углом откоса выше, чем естественный, остается на сегодняшний день очень важным вопросом. В большинстве случаев с целью экономии полезной площади существует необходимость установки откосов с максимальным углом. Мы посчитали, что при проведении экспериментальных исследований угол откоса необходимо принимать равным 80° .

Влажность грунта (W), количество воды, которая содержится в порах грунта, – величина переменная. В зависимости от климатических условий, времени года и глубины залегания грунтовых вод она может изменяться в широких пределах. При планировании экспериментальных исследова-

ований должны учитываться наиболее значимые факторы. Так как влажность может сильно изменяться, включим в план эксперимента грунт, на который изменение влажности не оказывает существенного влияния.

Связность грунтов -длина заведения армирующего полотна за кривую скольжения, L ;

- величина вертикального шага армирования, h ;
- количество армируемых слоев, n .

Поэтому при проведении экспериментальных исследований проверялось влияние этих факторов на стойкость армированных откосов.

Для проведения экспериментальных исследований была подготовлена экспериментальная «модель» откоса, подлежащего укреплению, в масштабе 1:10. Размеры «ящика» для моделирования должны быть не меньше $1000 \times 600 \times 210$ мм и откос высотой до 350 мм с углом к горизонту 80° . Одна из боковых граней для визуального контроля эксперимента – из прозрачного материала.

В качестве факторов приняты следующие величины:

x_1 – величина длины заведения геотекстиля за кривую скольжения (L).

x_2 – количество армируемых слоев (n).

x_3 – высота слоя армирования (h).

Наименования факторов и уровни их варьирования показаны в табл. 1.

Таблица 1

Факторы и уровни их варьирования

№	Факторы	Ед. изм.	Код	Уровни факторов по плану эксперимента		
				-1	0	+1
1	Длина заведения армирующего полотна за кривую скольжения, L	мм	x_1	0	100	200
2	Величина вертикального шага армирования, h	мм	x_2	50	60	70
3	Количество армируемых слоев, n	Шт.	x_3	1	3	5

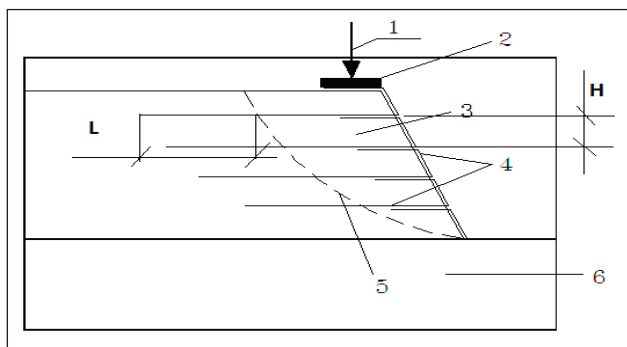


Рис. 1. Схема экспериментальной модели
 1 – прилагаема нагрузка; 2 – жесткий прямоугольный штамп; 3 – призма обрушения; 4 – армирующее полотно;
 5 – угол естественного откоса (кривая скольжения);
 6 – толщина грунта ниже армированного откоса

Экспериментальные исследования показали влияние этих факторов на устойчивость армированных откосов.

Схема экспериментальной модели представлена на рис. 1. При устройстве откоса грунт укладывался послойно с уплотнением каждого слоя. Уплотнение производилось трамбованием при помощи «штампа» весом 5 кг из условия не менее трех ударов по одному и тому же месту.

Результаты влияния факторов на устойчивость грунтовых массивов

№	Кодируемые значения факторов			Натуральные значения факторов			Нагрузка, которое отвечает началу развития осадки у1, кг	Нагрузки, при которых осадка достигает предельно допустимого значения у2 (5 мм)	Нагрузка, которое отвечает потере стойкости откоса* у3
	x1	x2	x3	L, мм	h, мм	n, шт.	N, кг	N, кг	N, кг
1	0	0	0	100	60	3	90	207	286
2	1	1	1	200	70	5	82	177	239
3	1	-1	-1	200	50	1	105	243	336
4	-1	1	-1	0	70	1	79	199	282
5	-1	-1	1	0	50	5	83	165	198
6	-1	-1	-1	0	50	1	92	223	314
7	0	-1	1	100	50	5	85	200	278
8	0	1	-1	100	70	1	99	235	328
9	0	1	1	100	70	5	78	158	210
10	-1	0	1	0	60	5	74	147	173
11	1	0	-1	200	60	1	102	241	337
12	1	0	1	200	60	5	85	198	276
13	-1	1	0	0	70	3	71	165	187
14	1	-1	0	200	50	3	94	236	335
15	1	1	0	200	70	3	91	206	283
16	-1	1	1	0	70	5	64	134	150
17	1	-1	1	200	50	5	86	221	317
18	1	1	-1	200	70	1	101	239	333

Примечание: * за потерю стойкости принималось полное обрушение откоса, или момент, когда осадка достигала 2 см.

Армирующие полотна укладывались после уплотнения каждого слоя с одновременным формированием откоса. При этом на каждый слой грунта использовалось отдельное полотно. Верхний загиб армирующего материала – 5 см.

Во время эксперимента определялось влияние факторов, которые исследовались, на изменение трех показателей. Первый -

Во время эксперимента определялось влияние факторов, которые исследовались, на изменение трех показателей. Первый – количественное значение нагрузки у1(у'1), при влиянии которого начинают развиваться осадочные деформации. Второй – количественное значение величины нагрузки у2(у'2), при котором осадка достигает

предельно допустимого значения. За величину предельно допустимого оседания приняты оседания, при которых не допускается нормальная эксплуатация домов и сооружений.

Третий – количественное значение нагрузки у3(у'3), при влиянии которой откос теряет стойкость и происходит его обрушение.

В качестве фактора х1 принята величина длины заведения геотекстиля за кривую скольжения (L). Этот фактор характеризует жесткую фиксацию армирующего материала в стойкой части грунтового массива. За стойкую часть принят грунтовой массив, расположенный за призмой обрушения. Величина х1 изменялась в пределах от 0 до 200 мм. Вторым фактором х2 была высота слоя

армирования (h). Величина варьирования фактора от 50 до 70 мм. В качестве фактора х3, что характеризует высоту армированного откоса, принято количество армирующих слоев n. Пределы изменения этого фактора выбраны 1, 3, 5.

Нагрузка создавалась компрессором. Она прикладывалась через жесткий прямоугольный штамп и фиксировалась по манометру. Результаты испытания оценивались по измерению осадки штампа с помощью прогибомера ПМ-3, либо по факту потери устойчивости откоса (его обрушения) при отсутствии компрессора равномерным нагружением. Причем сначала определялся интервал нагружения опытным путем.

Эксперимент допускал реализацию серии опытов, составленных по определенной схеме: каждый из опытов отличался комбинированием независимых переменных, которые и определяли условия его проведения при сокращении объема опытных работ в сравнении с полным многофакторным экспериментом.

Данные о результатах влияния факторов, в зависимости от варьирования их уровней на

устойчивость грунтовых массивов занесены в табл. 2.

Выводы. При этом выполнялись два наиболее существенных требования:

– факторы коррелируемы, то есть каждому из рассмотренных факторов можно было задать любое возможное значение, независимо от значений других переменных;

– факторы совместимы, среди возможных колебаний значений факторов, которые определяют условия каждого опыта в плане, исключены такие, которые нельзя было бы осуществить.

Выбор области изменения факторов определен теоретическими границами существования переменных, техническими возможностями и областями изменения переменных, что представляют практический интерес с точки зрения конкретного задания.

Наиболее высокая степень стойкости откоса характерна для конструктивно-технологического решения, при котором длина заведения геотекстиля за кривую скольжения равна 200 мм и уложена в один слой при высоте армирующего слоя 60 мм.

Список литературы:

1. Виды нарушения устойчивости откосов. URL: <http://drillings.su/vidiotkosov.html>
2. ОДМ 218.5.003-2010 Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог Факторы, влияющие на устойчивость откосных сооружений. С. 12–23.
3. Факторы, влияющие на устойчивость откосных сооружений. URL: <http://okvsk.ru/inzhenernaya-geologiya/900-factory-vliyayuschie-na-ustoychivost-otkosnyh-sooruzheniy.html>.
4. Методика расчета насыпей, армированных различными материалами. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293853/4293853598.htm>.
5. Воронюк Б.А., Буянов А.И. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. Москва : Колос, 1970. С. 127–133.
6. Плотность грунтов. Пористость и степень уплотнения. URL: <https://lektsii.com/2-125161.html>

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ АРМУВАННЯ СХИЛІВ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ ПРОЧНОСТЬ

У статті описані основні причини втрати стійкості схилів. Проведено аналіз впливу конструктивно-технологічних факторів на міцність укосу з метою виявлення тих, які мають найбільший вплив. Надалі планується здійснити перевірку цього впливу експериментально. Під час проведення експериментальних досліджень була підготовлена експериментальна «модель» укосу. Визначено фактори, які показали свій вплив на стійкість армованих укосів.

Ключові слова: армування, геосинтетики, міцність, схили, ґрунт, фактори.

IMPACT ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF REINFORCING SLOPES WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS ON THEIR DURABILITY

This article describes the main causes of loss of slope resistance power. The analysis of the influence of constructive-technological factors on the strength of the slope in order to detect those that have the greatest impact. In the future, to verify this effect experimentally An experimental slope “model” was prepared for these experimental investigations. The factors that have shown their influence on the stability of reinforced slopes are determined.

Key words: reinforcement, geosynthetics, strength, slopes, soil, factors.

ГЕОДЕЗІЯ

УДК 624:528:004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/36>

Поморцева О.Є.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ТРИВИМІРНИЙ КАДАСТР НЕРУХОМОСТІ: ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ

У статті описано ієрархічну структуру основних компонентів тривимірної міської геоінформаційної системи для ведення тривимірного кадастру нерухомості та розглянуто основні чинники, які необхідно враховувати під час впровадження такої системи. Найбільш важливі фактори, необхідні для стабільної роботи подібної системи, – це гнучкість, масштабованість і забезпечення взаємодії під час збереження та використання даних.

Ключові слова: кадастр нерухомості, геоінформаційна система, розподіл прав доступу, тривимірна модель, управління даними, федеративний пошук.

Постановка проблеми. Системи тривимірного кадастрового обліку нерухомого майна та реєстрації прав володіння впроваджуються в багатьох країнах світу. На теперішній час в Україні є всі технічні умови для переходу до повноцінного тривимірного кадастру нерухомості, базою якого є сучасні технології збору, обробки та подання геопросторових даних у тривимірному вигляді.

Однак існують деякі технічні складності у разі відображення об'єктів в тривимірному вигляді. Одна з таких проблем – використання тривимірних даних та розподіл прав доступу до них фахівців різного рівня та пересічних громадян.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найчастіше географічні уявлення організовують як набори даних або шари. Більшість наборів даних є наборами таких простих географічних елементів, як дорожня мережа, набір меж земельних ділянок, типи ґрунтів, поверхня рельєфу, супутникові зображення. У ГІС (геоінформаційних системах) набори просторових даних зазвичай організовані як набори даних класів просторових об'єктів або засновані на растрах набори векторних даних [1].

Багато тем даних найкраще представляються у вигляді одного набору даних, наприклад, типи ґрунтів або зелені насадження. Інші теми, такі як дорожньо-транспортна мережа, краще представляти декількома наборами даних. Тобто, транспортна мережа може бути представлена у вигляді декількох класів просторових об'єктів вулиць, перехресть вулиць, мостів, з'їздів на автомагістралях, залізниць. Рельєф також можна показати за допомогою декількох наборів даних [2].

Особливістю зберігання просторових даних в ГІС є їх поділ на шари. Багатошарова організація електронної карти, при наявності гнучкого механізму управління шарами, дозволяє об'єднати і відобразити набагато більшу кількість інформації, ніж на звичайній карті [3].

Як правило, інформація про міську інфраструктуру зберігається у самих різних форматах. Ця інформація накопичується з часу спорудження об'єкта інфраструктури і до теперішнього моменту. Вона включає наступне:

- наземні дані, такі як аерофотознімки, цифрові моделі рельєфу і вуличні мережі;
- архітектурні і технічні проекти, як тривимірні, так і у вигляді проєкцій і розрізів;
- фактична інформація, отримана після закінчення проєктів будівництва або реконструкції;
- численні документи, контракти, календарні плани і відводи земельних ділянок.

Цифрові дані, що зберігаються в ГІС, САПР (системах автоматизованого проєктування), ВІМ (інформаційних моделях будівель) і офісних сховищах, застосовуються для опису об'єктів реального світу. Подання об'єкта може суттєво відрізнятися в залежності від програми, яка працює з об'єктом. Наприклад, будівля може бути представлена двовимірною точкою, пов'язаною з поштовим індексом, або потужною інформаційною моделлю будівлі, що містить точні геометричні і розширені семантичні дані. Уявлення геопросторових об'єктів можна структурувати відповідно до їх масштабу та рівня деталізації. У деяких випадках для одного масштабу може бути кілька

подань, наприклад двовимірний контур будівлі для кадастрових цілей і тривимірне об'ємне тіло для цілей моделювання поширення шуму [4].

Традиційно в ГІС використовуються реляційні бази даних, в яких передбачається застосування моделі даних. Часто їх називають «інтелектуальними» додатками, що працюють з інтелектуальними даними. Останнім часом розвиток більшості архітектурних та інженерних додатків було пов'язано зі структурованими даними, такими як інформаційні моделі будівель (BIM) [5].

В останні роки, які зазвичай називають ерою WEB, можливості веб-додатків в багатьох організаціях були розширені від WEB-публікації до повноцінної WEB-середини ГІС, що забезпечує динамічну взаємодію з даними і закладає основу для спільної роботи. Колективна робота над проектами з можливістю візуалізації даних і можливістю внесення змін сприяє підвищенню якості проекту. Але незважаючи на те що зараз WEB-додатки ГІС знайшли широке застосування, в більшості систем підтримується робота тільки з двовимірними даними [6].

Постановка завдання. Об'єкти нерухомості, такі як земельні ділянки, будівлі та споруди, є об'єктами просторовими і мають об'єм, який не можна виводити на екран в сучасній двовимірній проекції. Чинний двовимірний кадастр не дозволяє чітко побачити лінії електропередач, телевежі, комунікаційні труби і висотні об'єкти, тобто практично неможливо здійснити облік таких об'єктів нерухомості, як дорожні розв'язки, мости і тунелі, багаторівневі комплекси нестандартної форми, з нависаючим другим, третім поверхом, що потрапляють на чужу територію. Один з головних недоліків двовимірного кадастру – відсутність підземних об'єктів. Підземні об'єкти, такі як мережі метрополітену, колектори, тунелі, трубопроводи є найважливішими елементами інфраструктури міст, проте позначена проблема обмежує можливість реєстрації муніципалітетами прав на них і породжує різні майнові суперечки. Усі ці недоліки можуть бути ліквідовані у тривимірному кадастрі.

Тому розробка основних підходів щодо збереження, управління, різних видів подання та деталізації, пошуку інформації у базі геоданих, розгалуження прав доступу користувачів ще до впровадження тривимірного кадастру нерухомості призведе до прискорення процесу впровадження цієї інновації.

Виклад основного матеріалу.

Збереження даних

Більшість користувачів використовують для зберігання інформації файли у будь-якій файло-

вій системі. Тобто використовують додатки, які можуть працювати з неструктурованими даними. Під неструктурованими розуміються дані, що не мають формальної моделі даних, яка описує об'єкти інфраструктури. До них відносяться документи Office, файли САПР (систем автоматизованого проектування), розрахунки, відскановані креслення і навіть паперові документи. Може скластися думка, що такі дані не важливі і носять перехідний характер, проте в середовищі фахівців з інфраструктури добре відомо, що дуже велика частина рішень приймається на основі неструктурованих даних. Тому вкрай важливо, щоб сховища даних підтримували і структуровані, і неструктуровані дані.

Для зберігання інформації в тривимірній міській ГІС можуть використовуватися сховища даних двох типів. Це просторові бази даних, у яких можна зберігати і індексувати величезні обсяги даних, що охоплюють величезні території, такі як місто або район. Протягом багатьох років в ГІС найчастіше використовувалися просторові бази даних. У них зберігалася геометрична інформація, така як двовимірні точки, лінії та полігони, а також традиційні властивості бази даних. Прикладами просторових баз даних служать Oracle Spatial, база геоданих ESRI, PostgreSQL, MySQL і Microsoft SQL Server після додавання геопросторових можливостей. В останні кілька років деякі постачальники програмного забезпечення істотно розширили діапазон підтримуваних типів даних. Наприклад, в Oracle Spatial 11G передбачена підтримка растрових зображень аерофотознімків і супутникових знімків, тривимірних триангуляційних мереж для цифрових моделей рельєфу, тривимірних хмар точок для даних лідарної зйомки, а також простих і складових об'ємних геометричних тіл, які можна використовувати для подання таких об'єктів інфраструктури, як будівлі. Незважаючи на постійний розвиток баз даних, вони не підтримують всі типи геометрії, необхідної в області архітектури, проектування та будівництва. Просторові бази даних не пристосовані для управління неструктурованими даними, такими як документи Office (Word, Excel, PowerPoint), цифровими документами (файли PDF) і мультимедіа (відео, звук, анімація).

Також для зберігання інформації в тривимірній міській ГІС можуть використовуватися файлові системи. Вони мають ту перевагу, що підтримуються у всіх операційних системах і тому не вимагають додаткових інвестицій в програмне забезпечення та адміністрування. У файлових системах

можна працювати як зі структурованими, так і з неструктурованими даними без будь-яких перетворень. Вони надають зручний спосіб зберігання будь-яких обсягів даних і обміну цими даними. Файлові системи можуть включати інноваційні можливості і забезпечувати сумісність, оскільки формат використовуваних файлів зазвичай знаходиться під контролем постачальників програмного забезпечення. Також передбачена підтримка особливих видів геометрії. Слабкою стороною зберігання геопросторових даних в файлах є обмежені можливості доступу і запитів до даних в порівнянні з геопросторовими базами даних.

З огляду на важливу роль просторових баз даних і файлових систем в тривимірній міській ГІС повинні підтримуватися обидва підходи для зберігання тривимірної інформаційної моделі міста. Наприклад, у великій організації просторова база даних може використовуватися для подання великих ділянок з низьким ступенем деталізації, а докладна інженерно-технічна інформація і неструктуровані дані будуть зберігатися в файлової системі. Більш того, для підтримки більш складних робочих процесів в тривимірній міській ГІС повинні бути передбачені можливості управління і індексації обох типів сховищ, щоб забезпечити прямий перехід від бази даних до файлів і назад. Це автоматично призводить користувачів тривимірної міської ГІС до питань управління даними.

Управління даними

Для моделювання та ведення тривимірної інформаційної моделі міста буде потрібно залучення безлічі власних і сторонніх фахівців для роботи над різними проектами протягом тривалого періоду часу. Інформація про місто буде використовуватися в різних проектах різними підрозділами або організаціями як для візуалізації, так і для аналізу даних. Для створення стійкої тривимірної міської ГІС з належним контролем якості даних критично важливу роль буде відігравати управління всіма об'єктами, задіяними в системі, такими як дані (інформація), користувачі, робочі процеси і проекти.

Інформація: різні подання і рівні деталізації

Для одного об'єкту реального світу повинні бути доступні кілька рівнів деталізації і уявлень. На додаток до структурованого подання деякі характеристики будівлі можуть бути представлені і визначені великою кількістю неструктурованих файлів. Для забезпечення ефективного пошуку потрібно підтримувати зв'язки між такими поданнями в різних моделях даних і відповідними

документами. У тривимірній міській ГІС повинні підтримуватися явні відносини між різними поданнями і рівнями деталізації одного і того ж об'єкту реального світу.

Федеративний пошук

Тривимірна міська ГІС повинна відстежувати інформацію у всіх сховищах даних і підтримувати можливість пошуку в розрізних сховищах. Наприклад, результати пошуку за адресою будівлі можуть містити прості двовимірні і тривимірні уявлення з просторової бази даних, детальну модель будівлі з тривимірного файлу, набір цифрових проєкцій і розрізів з будівельного проєкту, електричні схеми з відсканованих креслень, контракти і календарні плани будівництва з документів Office. Оскільки використовуються різні засоби захисту інформації, такі як захищення паролем, важливо не тільки враховувати метадані контейнера (ім'я файлу, дата і географічне положення), але і вміст неструктурованої інформації (індексація об'єктів, таких як будівлі, трубопроводу, що містяться в файлах). Щоб отримати максимальну користь з інформації, що зберігається, тривимірна міська ГІС повинна передбачати можливість пошуку інформації у різних видах сховищ даних.

Користувачі та права доступу

Користувачам бекофіса (співробітники, що займаються моделюванням і веденням моделей), мідлофіса (ІТ-адміністратори і керівники проєктів, що займаються підтримкою системи) і фронтофіса (користувачі, що використовують систему для візуалізації та аналізу даних, тобто кінцеві користувачі) потрібні різні рівні доступу з урахуванням їх посади і ролі. Тому тривимірна міська ГІС повинна забезпечувати безпечну і керовану середу з повністю контрольованим доступом користувачів.

Щоб при впровадженні тривимірної міської ГІС можна було враховувати потреби конкретних користувачів, система повинна бути гнучкою і масштабованою. Більш того, в процесі підтримки інфраструктури, як правило, беруть участь користувачі з різних організацій з різними потребами і обмеженнями. Для роботи з тривимірною інформаційною моделлю міста фахівці зазвичай використовують спеціалізовані програми, користувачі з підрозділів, що працюють з замовниками, можуть надавати перевагу WEB-додаткам або порталам для спільної роботи, а співробітникам на місцях знадобиться доступ з мобільних пристроїв. Щоб задовольнити потреби таких різнотипних груп користувачів, тривимірна міська ГІС

повинна поєднувати в собі гнучкі рішення для отримання інформації, редагування, аналізу та проектування з урахуванням потреб різних користувачів, що працюють на різних платформах. До складу тривимірної міської ГІС повинні входити додатки для стаціонарних комп'ютерів та веб-додатки з можливостями візуалізації та навігації по тривимірній інформаційній моделі міста, в тому числі розширені можливості WEB-ГІС.

Проекти та робочі процеси

Ймовірно, з часом тривимірна міська ГІС буде розвиватися в ході реалізації різних проектів із залученням власних і сторонніх ресурсів. Для управління ходом виконання проектів, забезпечення спільної роботи і підтримки якості даних повинні бути передбачені можливості визначення робочих процесів, в яких кожне становище надає авторизованим користувачам відповідні права доступу, а зміна стану системи автоматично ініціює виконання завдань, таких як повідомлення на мобільний телефон, повідомлення електронної пошти або архівація даних. Тривимірна міська ГІС також повинна мати функції управління проектами.

Концептуальна модель формату даних тривимірної міської ГІС

Модель майбутнього тривимірного кадастру нерухомості повинна дозволяти вирішувати такі завдання:

- Визначення ієрархії об'єктів нерухомості від найбільшого (країна), до самого маленького (територіальна громада).

- Адаптацію великої кількості даних про об'єкти нерухомості для суспільного використання.

- Чітке визначення відносин між суміжними об'єктами нерухомості (суміжне розташування в одній будівлі, суміжні межі, розділ земельних ділянок).

- Структуроване зберігання даних про об'єкти нерухомості.

- Інкапсуляція об'єктів нерухомості, їх властивостей і якостей.

- Досягнення рівня абстракції, достатнього для управління даними про об'єкти нерухомості, а також безпосередньо самими об'єктами нерухомості.

- Можливість спостерігати успадкування властивостей і параметрів між об'єктами нерухомості.

- Визначення стандарту опису об'єкта нерухомості для внесення його в тривимірний кадастр.

- Закріплення зв'язку між реальним об'єктом нерухомості і його моделлю.

- Досягнення оптимального рівня безпеки та збереження даних.

Ці дані можуть бути структурованими і неструктурованими. Застосування моделей даних спрощує пошук і обробку даних, оскільки додаток точно розуміє тип оброблюваного об'єкта і його властивості.

Хоча тривимірна міська ГІС зберігає великі обсяги інформації про міську інфраструктуру, в багатьох додатках, будь то стаціонарні, мобільні або WEB-додатки, відсутня взаємодія з бізнес-

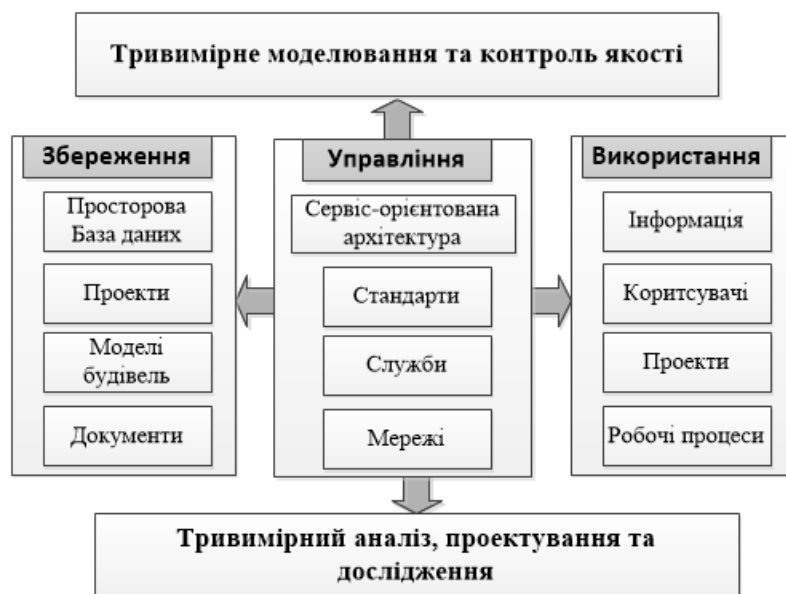


Рис. 1. Основні компоненти тривимірної ГІС в частині збереження, управління та використання даних

процесами. Тобто немає можливості поєднати інформацію тривимірної міської ГІС з інформацією з інших корпоративних систем, таких як ERP-системи чи системами управління роботами та системами управління запасами. Тому тривимірна міська ГІС повинна підтримувати можливість інтеграції з іншими корпоративними системами (рис. 1).

Для досягнення такого рівня масштабованості і гнучкості роботи з даними і процесами необхідно використовувати різні технології (різні постачальники програмного забезпечення застосовують різні технології) на різних платформах (стаціонарний комп'ютер, Інтернет, мобільні пристрої).

Висновки. Цілком очевидно, що ефективна робота відділів геопросторової інформації у все

більшій мірі буде залежати від створення тривимірної моделі міста та управління такою моделлю. Застосування тривимірної міської ГІС дає численні потенційні переваги в галузі підтримання міської інфраструктури, в тому числі скорочення дублювання роботи, спрощення доступу до необхідної інформації, спрощення взаємодії між учасниками проекту.

Тому представлені основні підходи щодо збереження, управління, різних видів подання та деталізації, пошуку інформації у базі геоданих, розгалуження прав доступу користувачів до тривимірного кадастру нерухомості дають змогу впровадити його з використанням наявних даних і технологічної інфраструктури якомога швидше та ефективніше.

Список літератури:

1. Поморцева О.Є. Використання геоінформаційної системи у проектуванні інфраструктури міста. *Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук»*, м. Люблін, Республіка Польща, 2017. С. 223–226.
2. Поморцева О.Є. Тривимірний кадастр нерухомості. Проблеми зберігання та управління інформацією. *Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. Серія: Технічні науки та архітектура*. – 2019. Т. № 1 (147). С. 23–26.
3. Поморцева Е.Е., Євдокімов А.А., Маслій Л.О. Использование геоинформационных систем при проектировании инженерной инфраструктуры города. *Сборник научных трудов «Геоинформационные технологии у территориальному управлінні та експертних дослідженнях», IV міжнародна науково-практична конференція*. Одеса, 2017. С. 111–114.
4. Поморцева О.Є. Використання тривимірного моделювання для покращення благоустрою міста. *Науково-практична конференція, присвячена міжнародному дню ГІС*. Харків, 2018. С. 27–29.
5. Radulovic, A., Sladić, D., & Govedarica, M. Towards 3D cadastre in serbia: Development of serbian cadastral domain model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2017. P. 120–126.
6. Prechtel, N. On strategies and automation in upgrading 2D to 3D landscape representations. *Cartography and Geographic Information Science*. 2015. № 42 (3). P. 244–258.

ТРЕХМЕРНЫЙ КАДАСТР НЕДВИЖИМОСТИ: ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ

В статье описана иерархическая структура основных компонентов трехмерной городской геоинформационной системы для ведения трехмерного кадастра недвижимости и рассмотрены основные факторы, которые необходимо учитывать при внедрении такой системы. Наиболее важные факторы, необходимые для стабильной работы подобной системы – это гибкость, масштабируемость и обеспечение взаимодействия при сохранении и использовании данных.

Ключевые слова: кадастр недвижимости, геоинформационная система, распределение прав доступа, трехмерная модель, управление данными, федеративное поиск.

3D CADASTRE REAL ESTATE: PROBLEMS OF DATA USE

The article describes the hierarchical structure of the main components of the three-dimensional urban geographic information system. The system is used to maintain a three-dimensional real estate inventory. The main factors that must be considered when introducing such a system are described. Important factors that are necessary for the stable operation of the system are flexibility, scalability and interaction with the preservation and use of data.

Key words: real estate cadastre, geographic information system, distribution of access rights, three-dimensional model, data management, federated search.

УДК 621.382

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/37>**Королевич Л.Н.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**Борисов А.В.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ЗОН ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ВОЛЬТ-ФАРАДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ МДП-СТРУКТУР

В статье рассматривается вопрос определения напряжения плоских зон МДП-структур по вольт-фарадным характеристикам (ВФХ). Проведено аналитическое рассмотрение влияния электрических зарядов в диэлектрике и на границе диэлектрик-полупроводник на ВФХ МДП-структуры. Предложен метод определения напряжения плоских зон по ВФХ МДП-структур, не требующий знания исходных параметров МДП-структуры и условий проведения эксперимента. Верность предложенного метода определения напряжения плоских зон МДП-структуры подтверждена экспериментально.

Ключевые слова: МДП-структура, ВФХ, напряжение плоских зон, емкость плоских зон, эффективный заряд, поверхностный потенциал.

Постановка проблемы. Напряжение плоских зон является одним из основополагающих параметров структур метал-диэлектрик-полупроводник (МДП) [1, 2]. Оно является базисом для определения основных параметров МДП-структур, таких как пороговое напряжение МДП-транзистора, концентрация примеси в подложке, разность работ выхода между металлом и полупроводником и другое. Существующие методы определения напряжения плоских зон [3–5] основываются на анализе вольт-фарадных характеристик (ВФХ) МДП-структур. Эти методы требуют как знания физических параметров МДП-структуры (концентрация основных носителей заряда в подложке, работа выхода и другое), так и условий проведения эксперимента (температура, частота, освещенность и другое). Проблема заключается в том, что незнание хотя бы одного из параметров МДП-структуры и/или условий эксперимента при снятии ВФХ не позволяет определить напряжение плоских зон.

Анализ последних исследований и публикаций. Недавние исследования [3–5] методов определения напряжения плоских зон подчеркивают актуальность поиска решения поставленной проблемы. Каждый из предложенных методов

является уникальным, но имеет собственные ограничения. Например, классический метод определения напряжения плоских зон заключается в сравнении экспериментальной высокочастотной ВФХ с соответствующей теоретической кривой [6]. Этот метод является зависимым от точности и/или достоверности исходных данных об МДП структуре и условия эксперимента. Аналогичная ситуация наблюдается и в ряде других методов [3].

Постановка задания. Задачей данной работы является разработка метода определения напряжения плоских зон МДП-структур на основе анализа экспериментальных ВФХ, который не зависит от знания физических параметров МДП-структур и условий эксперимента. Для решения поставленной задачи необходимо аналитически рассмотреть ВФХ реальной МДП-структуры, то есть с учетом наличия электрических зарядов, как на границе полупроводник-диэлектрик, так и в самом диэлектрике.

Эффективный заряд в диэлектрике. В общем случае эффективный заряд в диэлектрике может состоять из n -того числа зарядов различной природы, причем для наиболее изученной системы Si-SiO₂ [7–10] этот заряд включает четыре составляющих: заряд подвижных ионов

Q_m , заряд, захваченный на ловушечных уровнях в диэлектрике Q_{dt} , заряд, захваченный на поверхности раздела полупроводник-диэлектрик (поверхностный захваченный заряд) Q_{it} , и фиксированный заряд в диэлектрике Q_f (рис. 1):

$$Q_{eff} = Q_m + Q_{dt} + Q_{it} + Q_f. \quad (1)$$

Как показано в [2], эта система зарядов применима для любой структуры диэлектрик-полупроводник.

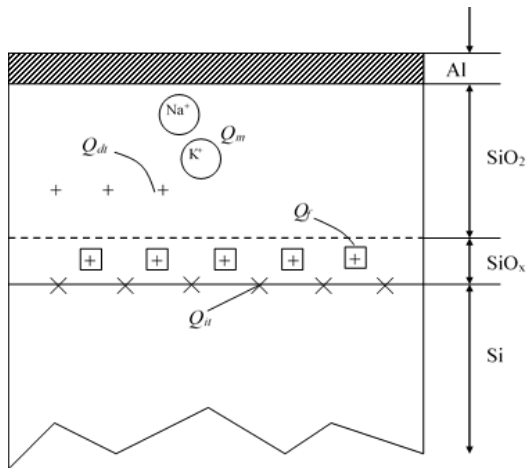


Рис. 1. Расположение зарядов в диэлектрике и на границе раздела полупроводник-диэлектрик [7]

Заряд подвижных ионов Q_m , как правило, обусловлен наличием в диэлектрике ионов щелочных металлов (Li, Na и т.д.). Заряд, захваченный на ловушечных уровнях в диэлектрике Q_{dt} , обусловлен заряженными ловушками (дефектами), расположенными в объеме диэлектрика. Заряд, захваченный на поверхности раздела полупроводник-диэлектрик Q_{it} , обусловлен заряженными ловушками (дефектами), на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Фиксированный заряд в диэлектрике Q_f – это встроенный в диэлектрик положительный заряд, обусловленный структурными дефектами в слое диэлектрика толщиной менее 2 нм от границы полупроводник-диэлектрик.

Поскольку входящие в (1) величины зарядов могут численно изменяться в широких пределах и иметь противоположные знаки, то описать поведение эффективного (суммарного) заряда невозможно. И, следовательно, невозможно и определить сдвиг порогового напряжения ΔV_T , обусловленный наличием эффективного заряда в диэлектрике:

$$\Delta V_T = \frac{Q_{eff}}{C_1} = \frac{Q_m + Q_{dt} + Q_{it} + Q_f}{C_1}. \quad (2)$$

Несмотря на разную физическую сущность зарядов Q_m и Q_{dt} , с точки зрения надежности,

они оба приводят к нестабильности характеристик МДП-приборов, обусловленной перераспределением и (или) изменением заряда в период эксплуатации. По этой причине влияние этих зарядов должно быть минимизировано. Следует заметить, что величины этих зарядов не зависят непосредственно от природы диэлектрика, а определяются качеством технологического процесса получения диэлектрических пленок на полупроводниковой подложке. В силу этого рассмотрением зарядов Q_m и Q_{dt} можно пренебречь.

Полное напряжение на МДП-структуре. ВФХ МДП-структуры в свою очередь являются зависимостью емкости от полного напряжения на структуре, которое является суммой напряжений на диэлектрике и на полупроводнике [1]:

$$V_G = V_I + \psi_s, \quad (3)$$

где ψ_s – потенциал на поверхности полупроводника по отношению к середине запрещенной зоны в объеме полупроводник (поверхностный заряд); V_I – потенциал на поверхности металла, который связан с емкостью диэлектрика C_1 и зарядом на поверхности металла Q_m следующим соотношением:

$$C_1 = \frac{Q_m}{V_I}. \quad (4)$$

В свою очередь, заряд Q_m , согласно условию электронейтральности, равен суммарному заряду в полупроводнике и диэлектрике:

$$Q_m = Q_{sc} + Q_{it} + Q_f, \quad (5)$$

где Q_{sc} – заряд в области пространственного заряда (ОПЗ), Q_{it} – поверхностный захваченный заряд; Q_f – встроенный заряд в диэлектрике вблизи границы раздела.

Учитывая разность работ выхода между металлом и полупроводником $\Delta\psi_{ms}$, получаем:

$$V_G = \Delta\psi_{ms} + \psi_s - \frac{Q_{sc}}{C_1} - \frac{Q_{it}}{C_1} - \frac{Q_f}{C_1}. \quad (6)$$

Заряд Q_{it} в простейшем случае можно выразить через его энергетическую плотность $D_{it} = [сМ^{-2}эВ^{-1}]$ следующим образом:

$$Q_{it} = -qD_{it}(\psi_s - \psi_0). \quad (7)$$

Изменение поверхностного заряда приводит к перераспределению носителей заряда в полупроводнике, таким образом обуславливая зависимость $Q_{sc} = (\psi_s)$. В отличие от заряда в ОПЗ, заряд Q_f является фиксированным и неподвижным, он не зависит от поверхностного потенциала и не вносит вклад в полную емкость МДП-структуры. Запишем полное напряжение на МДП-структуре с учетом сказанного:

$$V_G = \Delta\varphi_{ms} + \psi_s - \frac{Q_{sc}(\psi_s)}{C_I} + \frac{qD_{it}\psi_s}{C_I} - \frac{qD_{it}\varphi_0}{C_I} - \frac{Q_f}{C_I} \quad (8)$$

Напряжение, при котором поверхностный потенциал равен нулю, соответствует напряжению плоских зон:

$$V_{FB} = V_G|_{\psi_s=0} = \Delta\varphi_{ms} - \frac{qD_{it}\varphi_0}{C_I} - \frac{Q_f}{C_I} \quad (9)$$

С учетом (9) получим полное напряжение на МДП-структуре:

$$V_G = V_{FB} + \frac{qD_{it}}{C_I}\psi_s + \psi_s - \frac{Q_{sc}(\psi_s)}{C_I} \quad (10)$$

Полная емкость МДП-структуры. Согласно определению, полная емкость МДП-структуры равна:

$$C_{MIS} = \frac{\partial Q_M}{\partial V_G} = C_I \left(1 - \frac{d\psi_s}{dV_G} \right) \quad (11)$$

Продифференцировав выражение для полного напряжения (10) по потенциалу ψ_s и поставив в (11), получим:

$$C_{MIS} = \left(\frac{1}{C_I} + \frac{1}{C_{sc} + C_{it}} \right) \quad (12)$$

где C_I – емкость диэлектрика; C_{sc} – емкость ОПЗ вблизи поверхности полупроводника; C_{it} – емкость, обусловленная наличием заряда Q_{it} .

Составляющие полной емкости МДП-структуры. Удельная емкость диэлектрической пленки аналогична удельной емкости плоского конденсатора:

$$C_I = \frac{\epsilon_I \epsilon_0}{d_I} \quad (13)$$

где ϵ_I – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

Удельная емкость поверхностного захваченного заряда выражается через энергетическую плотность заряда D_{it} при его постоянном распределении по ширине запрещенной зоны полупроводника:

$$C_{it} = qD_{it} \quad (14)$$

Удельную емкость ОПЗ в полупроводнике можно определить из следующего соотношения:

$$C_{sc} = \frac{\partial Q_{sc}}{\partial \psi_s} = \epsilon_s \epsilon_0 \frac{\partial E_s}{\partial \psi_s} \quad (15)$$

где Q_{sc} – поверхностный заряд ОПЗ; ϵ_s – относительная диэлектрическая проницаемость полупроводника; ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; E_s – электрическое поле на поверхности полупроводника:

$$E_s = -\frac{\partial \psi_s}{\partial x} \quad (16)$$

где ψ_s – потенциал на границе раздела диэлектрик-полупроводник (поверхностный потенциал).

Для нахождения поверхностного потенциала воспользуемся уравнением Пуассона:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_0 \epsilon_s} \quad (17)$$

где ϵ_s – диэлектрическая проницаемость полупроводника; $\rho(x)$ – плотность полного объемного заряда, которая для случая полупроводника p -типа равна:

$$\rho(x) = q(N_D - N_A + p_p(x) - n_p(x)) \quad (18)$$

где N_D и N_A – концентрация ионизированных доноров и акцепторов соответственно; $p_p(x)$ и $n_p(x)$ – распределение концентрации дырок и электронов в полупроводнике p -типа:

$$n_p(x) = n_{p0} \exp(\beta\psi) \quad (19)$$

$$p_p(x) = p_{p0} \exp(-\beta\psi) \quad (20)$$

где $\beta = q/k_B T$ – обратный температурный потенциал; p_{p0} и n_{p0} – концентрация дырок и электронов в глубине полупроводника:

$$n_{p0} = n_i \exp(-\beta\varphi_0) \quad (21)$$

$$p_{p0} = n_i \exp(\beta\varphi_0) \quad (22)$$

где $\varphi_0 = \beta^{-1} \ln(p_{p0}/n_i)$ – потенциал, соответствующий расстоянию от середины запрещенной зоны до уровня Ферми в подложке; n_i – концентрация собственных носителей заряда в полупроводнике.

Из условия электро-нейтральности ($\rho(x)=0$), которое выполняется в глубине полупроводника, получим:

$$N_D - N_A = p_{p0} - n_{p0} \quad (23)$$

Запишем уравнение Пуассона с учетом (19–23):

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{qp_{p0} [e^{-2\beta\varphi_0} (e^{\beta\psi} - 1) - (e^{-\beta\psi} - 1)]}{\epsilon_0 \epsilon_s} \quad (24)$$

Из уравнения Пуассона и соотношений (15) можно получить зависимость емкости ОПЗ от поверхностного потенциала:

$$C_{sc}(\psi_s) = \frac{\epsilon_s \epsilon_0}{L_D \sqrt{2}} \cdot \frac{e^{-2\beta\varphi_0} (e^{\beta\psi_s} - 1) + (1 - e^{-\beta\psi_s})}{F(\psi_s)} \quad (25)$$

где $L_D = \sqrt{\epsilon_s \epsilon_0 / (q\beta p_{p0})}$ – длина экранирования Дебая; $F(\psi_s)$ – безразмерная функция Кингстона, равная [1, 11]:

$$F(\psi_s) = \sqrt{(1 - e^{-2\beta\varphi_0}) \psi_s \beta + (e^{\beta\psi_s} - 1) e^{-2\beta\varphi_0} + e^{-\beta\psi_s} - 1} \quad (26)$$

Влияние заряда на ВФХ МДП-структур. На основании соотношений для напряжения (10) и емкости (12) с учетом (13, 14, 25) построены теоретические ВФХ (рис. 2–4). Исходными были такие параметры МДП-структуры, как $N_A = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon_I = 8$, $T = 290 \text{ K}$, $\Delta\varphi_{ms} = 0,5 \text{ В}$, $d_I = 4 \cdot 10^{-7} \text{ см}$.

Из рис. 2 следует, что в области обогащения (напряжение менее 0,4 В) емкость ОПЗ полупроводника значительно превышает емкость

диэлектрика, что приводит к тому, что ёмкость МДП-структуры стремится стать равной ёмкости диэлектрика (насыщается). В области обеднения и слабой инверсии (напряжения 0,5 – 1,2 В) ёмкость ОПЗ становится намного меньше ёмкости диэлектрика и ёмкость МДП-структуры определяется ёмкостью ОПЗ полупроводника.

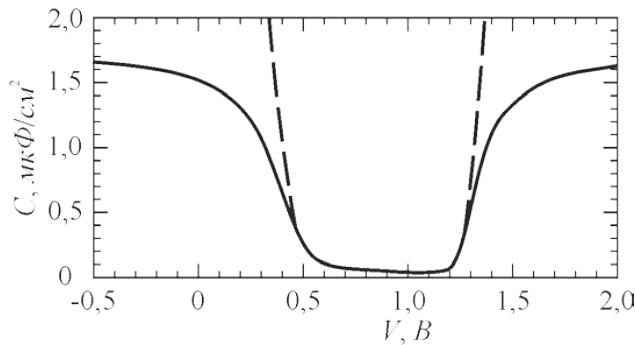


Рис. 2. ВФХ идеализированной ($D_{it} = 0, Q_f = 0$) МДП-структуры – сплошная линия и зависимость ёмкости ОПЗ от полного напряжения на структуре – пунктирная линия

Анализируя влияние заряда Q_f на ВФХ МДП-структуры (рис. 3), следует подчеркнуть, что этот заряд приводит лишь к смещению характеристики вдоль оси напряжения и не искажает формы ВФХ.

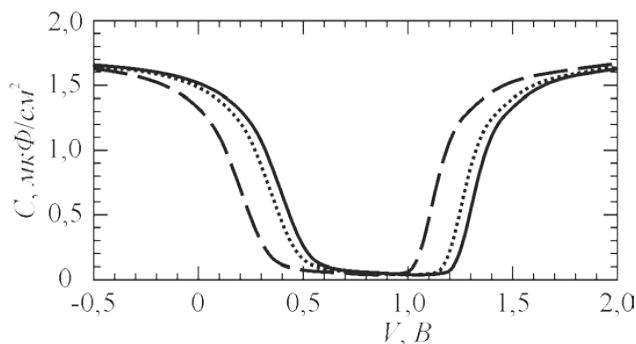


Рис. 3. ВФХ МДП-структуры при $Q_{it} = 0$, в отсутствии фиксированного заряда – сплошная линия и при наличии фиксированного заряда $Q_f = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл} \cdot \text{см}^{-2}$ – точечная линия, $Q_f = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл} \cdot \text{см}^{-2}$ – пунктирная линия

В отличие от заряда Q_f , изменение заряда Q_{it} (рис. 4) приводит к изменению формы ВФХ, а именно – к расширению области обеднения и слабой инверсии (напряжения 0,5 – 1,2 В) и к увеличению ёмкости в этой области.

Для учета влияния заряда Q_{it} на форму ВФХ МДП-структуры необходимо проанализировать зависимость полной ёмкости МДП-структуры от напряжения на затворе. Для этого необходимо в (12) подставить выражения (13, 14, 25) с учетом того, что полное напряжение на МДП-структуре определяется выражением (10). В общем случае это выражение является сложным, громоздким и требует упрощения.

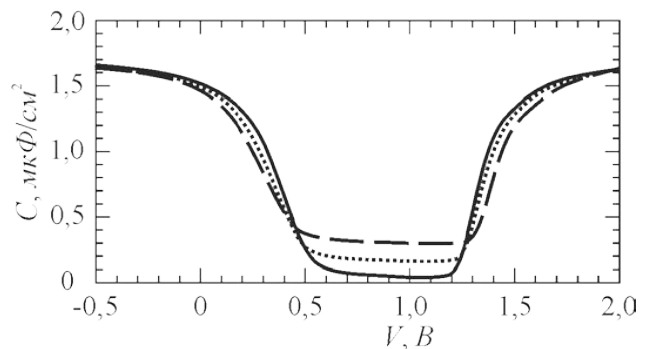


Рис. 4. ВФХ МДП-структуры при $Q_f = 0$, в отсутствии заряда Q_{it} – сплошная линия и при наличии заряда Q_{it} : $D_{it} = 9 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ – точечная линия, $D_{it} = 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ – пунктирная линия

Как известно, ёмкость диэлектрика C_{ox} не зависит от напряжения на затворе и может быть легко определена из экспериментальных ВФХ (ёмкость в области обогащения). Поэтому следует производить анализ не ВФХ МДП-структуры $C_{MIS}(V_G)$, а ВФХ только лишь параллельно соединённых ёмкости ОПЗ полупроводника C_{sc} и ёмкости, обусловленной зарядом на границе полупроводник-диэлектрик C_{it} :

$$C_s = \left(\frac{1}{C_{MIS}} - \frac{1}{C_{ox}} \right)^{-1} = C_{sc} + C_{it}. \quad (27)$$

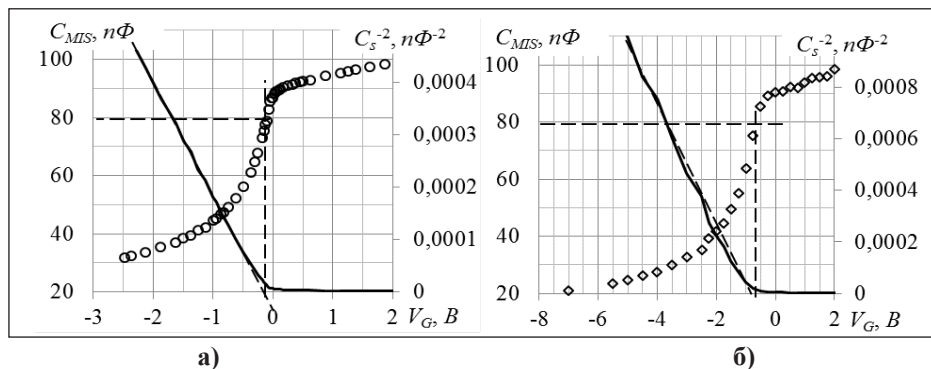


Рис. 5. Экспериментальные ВФХ $C_{MIS}(V_G)$ (маркеры) и зависимость $C_s^{-2}(V_G)$ (сплошная линия) от напряжения на МДП-структуре V_G

Поскольку заряд имеет наибольшее влияние в области обеднения и слабой инверсии (см. рис. 4), то можно ограничиться рассмотрением лишь этой области. При этих условиях емкость ОПЗ имеет следующую зависимость от поверхностного потенциала:

$$C_{sc}^{FB+} = \sqrt{\frac{\epsilon_s \epsilon_0 q N_A}{2(\psi_s - k_B T/q)}}, \quad (28)$$

а напряжение на МДП-структуре линейно зависит от поверхностного потенциала:

$$V_G - V_{FB} = n\psi_s, \quad (29)$$

где $n = (C_{ox} + C_{it} + C_B^*) / C_{ox}$ – константа, в которой C_B^* – емкость ОПЗ при условии, что $\psi_s = \phi_0$.

Подставив (29) в (28), получим зависимость емкости ОПЗ от напряжения на МДП-структуре:

$$C_{sc}^{FB+} = \sqrt{\frac{\epsilon_s \epsilon_0 q N_A}{2((V_G - V_{FB})n^{-1} - k_B T/q)}}. \quad (30)$$

Очевидно, что в координатах C_{sc}^{FB+} эта зависимость должна иметь линейный характер. Более того, экстраполяция этой прямой на ось напряжений дает возможность определить напряжение плоских зон МДП-структуры:

$$V_{FB} = V_G - \frac{kT}{q} n. \quad (31)$$

Очевидно, что напряжение плоских зон определяется с точностью до $nk_B T/q$, причем $n > 1$. В практических важных случаях $n = 1 + (C_B^* + C_{it}) / C_{ox} \leq 3$, поэтому погрешность определения напряжения плоских зон не превышает $-3k_B T/q$. Более того, если известны материальные параметры структуры или условия проведения эксперимента, параметр n может быть рассчитан более точно.

Для подтверждения приведенного метода определения напряжения плоских зон измерены ВФХ МДП структуры Al–CeO₂–Si (маркеры на рис. 5) при различных уровнях освещенности (рис. 5 а – 30 Лк, рис. 5 б – 5800 Лк), для которых построена зависимость C_s^{-2} от напряжения (сплошная линия). Напряжения и емкости плоских зон на рис. 5 обозначены, соответственно, вертикальными и горизонтальными пунктирными линиями. Поскольку емкости плоских зон для обеих ВФХ оказались равными, то это свидетельствует о верности определения напряжения плоских зон по данному методу.

Основные результаты и выводы. В работе предложен метод определения напряжения плоских зон по экспериментальным ВФХ МДП структуры, который не зависит от знания тех или иных параметров МДП-структуры и условий проведения эксперимента.

Проведено аналитическое рассмотрение влияния фиксированного заряда в диэлектрике и заряда, захваченного на поверхности полупроводник-диэлектрик на ВФХ МДП-структуры.

Экспериментально подтверждена верность предложенного метода определения напряжения плоских зон. Дополнительно следует отметить, что увеличение емкости C_{it} приводит к увеличению нелинейности характеристики $C_s^{-2}(V_G)$ в области инверсии ($|V_G| > |V_{FB}|$). Поэтому линейная зависимость в области инверсии на характеристике $C_s^{-2}(V_G)$ говорит о том, что заряд Q_{it} отсутствует или ничтожно мал.

Список литературы:

1. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. 832 p. DOI: 10.1002/0470068329
2. Schroder D.K. Semiconductor Material and Device Characterization. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 799 p.
3. Piskorski K., Przewlocki H. The methods to determine flat-band voltage VFB in semiconductor of a MOS structure. *Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics: proceedings of 33rd International Convention MIPRO 2010* (Opatija, May 24-28 2010). Opatija, 2010. P. 37–42.
4. Migliorato P., Seok M. J., Jang J. Determination of flat band voltage in thin film transistors: the case of amorphous-indium gallium zinc oxide. *Applied Physics Letters*. 2012. Vol. 100. P. 0735061–0735064. DOI: 10.1063/1.3685705
5. Winter R., Eizenberg M., Anh J., McIntyre P. C. New method for determining flat-band voltage in high mobility semiconductors. *Journal of Vacuum Science Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*. 2013. Vol. 31. P. 0306041–0306043. DOI: 10.1116/1.4802478
6. Terman L.M. An Investigation of Surface States at a Silicon / Silicon Oxide Interface Employing Metal-Oxide-Silicon Diodes. *Solid-State Electronics*. 1962. Vol. 5, №. 5. P. 285–299. DOI: 10.1016/0038-1101(62)90111-9
7. Красников Г.Я., Зайцев Н.А. Система кремний-диоксид кремния субмикронных СБИС. Москва : Техносфера. 2003. 384 с.
8. Зайцев Н.А., Красников Г.Я., Огурцов О. Зарядовые состояния МОП-структур: стандартизированная терминология. *Электроника : Наука, Технология, Бизнес*. 2002. №. 1. С. 64–65.
9. Deal B.E. Standardized Terminology for Oxide Charges Associated with Thermally Oxidized Silicon. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 1980. Vol. 27. №. 3. P. 606–608. DOI: 10.1109/T-ED.1980.19908

10. Deal B.E. Standardized Terminology for Oxide Charges Associated with Thermally Oxidized Silicon. *Journal of The Electrochemical Society*. 1980. Vol. 127. №. 4. P. 979–981.

11. Przewlocki H., Gutt T., Piskorski K. The inflection point of the capacitance-voltage, $C(VG)$, characteristic and the flat-band voltage of metal-oxide-semiconductor structures. *Journal of Applied Physics*. 2014. Vol. 115. P. 2045101–20451018. DOI: 10.1063/1.4880399

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ ПЛОСКИХ ЗОН ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ВОЛЬТ-ФАРАДНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МДН-СТРУКТУР

У статті розглядається питання визначення напруги плоских зон МДН-структур за вольт-фарадними характеристиками (ВФХ). Проведено аналітичний розгляд впливу електричних зарядів в діелектрику і на межі розділу діелектрик-напівпровідник на ВФХ МДН-структури. Запропоновано метод визначення напруги плоских зон по ВФХ МДН-структур, що не вимагає знання вихідних параметрів МДН-структури та умов проведення експерименту. Вірність запропонованого методу визначення напруги плоских зон МДН-структури підтверджена експериментально.

Ключові слова: МДН-структура, ВФХ, напруга плоских зон, ємність плоских зон, ефективний заряд, поверхневий потенціал.

DETERMINATION OF FLAT BAND VOLTAGE BY EXPERIMENTAL CAPACITANCE-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR STRUCTURES

The article deals with the problem of determining the flat band voltage of MIS-structures in terms of the capacitance-voltage (CV) characteristics. The analytical consideration of the influence of electric charges inside the dielectric and on the insulator-semiconductor interface on the CV-characteristic of the MIS-structure is accomplished. There is proposed the method of determining the flat band voltage on CV-characteristics of MIS-structures, which does not require knowledge of the MIS-structure parameters and the experiment conditions. The validation of the proposed method for determining the flat band voltage of the MIS-structure is proved experimentally.

Key words: MIS structure, MOS structure, CV-characteristic, capacitance-voltage characteristic, flat band voltage, flat band capacitance, effective charge, surface potential.

УДК 621.382

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/38>**Осадчук О.В.**

Вінницький національний технічний університет

Осадчук В.С.

Вінницький національний технічний університет

Осадчук Я.О.

Вінницький національний технічний університет

ВПЛИВ ГАЗОРЕАКТИВНОГО ЕФЕКТУ ПЕРВИННИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕНСОРІВ ГАЗУ НА ВИХІДНУ ЧАСТОТУ АВТОГЕНЕРАТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

У роботі розглянуто механізм утворення повного опору напівпровідникових сенсорів газу, у якому активна складова визначається приповерхневим опором, а реактивна складова – приповерхневою ємністю. Залежність величини повного опору від зміни концентрації діючих газів характеризує суть газореактивного ефекту сенсорів, що однозначно змінює вихідну частоту автогенераторних перетворювачів газу. Визначено функцію перетворення і рівняння чутливості автогенераторного перетворювача газу, причому чутливість пристрою в діапазоні від 300 ррт до 1000 ррт складає 260 Гц/ррт, а в діапазоні від 1000 ррт до 5000 ррт – 115 Гц/ррт.

Ключові слова: автогенераторний перетворювач газу, газореактивний ефект, реактивні властивості напівпровідників, повний опір.

Постановка проблеми. Під газореактивним ефектом розуміють залежність повного опору напівпровідникових первинних аналогових газочутливих сенсорів від зміни вимірюваних газів. Зміна активної складової повного опору приводить до зміни від'ємного диференційного опору, а зміна реактивної складової змінює ємність коливального контуру автогенераторних перетворювачів газу, що в підсумку приводить до однозначної залежності вихідної частоти автогенераторних приладів від зміни концентрації вимірюваних газів. Напівпровідникові аналогові сенсори газу мають ряд недоліків, таких як низький вихідний сигнал, низька точність і чутливість, необхідність підсилювальних пристроїв і аналого-цифрових перетворювачів при подальшій обробці сигналів, паразитний вплив одного каналу вимірювання на інший канал, які можна усунути при використанні методу перетворення фізичної величини у частоту [1–3]. При використанні частотного методу перетворення необхідно знати залежність повного опору первинних аналогових напівпровідникових сенсорів газу від дії вимірюваних газів і вплив цього ефекту на вихідну частоту автогенераторних перетворювачів газу. Дослідженню цих процесів присвячено дану роботу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У монографії [5] подано феноменологічні основи

теорії електронних процесів на поверхні напівпровідників, на основі якої визначено приповерхневі ємність і активний опір напівпровідників, що складають основу аналогових сенсорів газу. Для усунення недоліків аналогових сенсорів газу було запропоновано сенсори газу з частотним вихідним сигналом, який однозначно залежить від зміни концентрації вимірюваних газів. В опублікованих роботах [6, 7] вважається, що основний внесок в залежність вихідної частоти сенсора газу від зміни концентрації вимірюваних газів вносить активний приповерхневий опір первинного сенсора газу, проте як показують експериментальні дослідження, реактивна складова, тобто приповерхнева ємність, також впливають на вихідну частоту автогенераторних сенсорів, особливо при роботі на високих частотах. Таким чином, залежність повного приповерхневого опору від зміни концентрації вимірюваного газу, що визначає суть газореактивного ефекту, необхідно враховувати при визначенні функції перетворення і рівняння чутливості автогенераторних сенсорів газу.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження математичної моделі газореактивного ефекту і його вплив на вихідну частоту автогенераторних перетворювачів газу. Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі: 1) провести аналіз фізичних про-

цесів на поверхні напівпровідникових сенсорів газу; 2) розробити елементи теорії газореактивного ефекту напівпровідникових сенсорів газу на основі паралельного з'єднання ємності приповерхневого шару просторового заряду і приповерхневого опору; 3) визначити функцію перетворення і рівняння чутливості автогенераторного перетворювача газу; 4) зробити висновки по проведеному дослідженню.

Виклад основного матеріалу. Фізичні процеси, що відбуваються на поверхні напівпровідникових газочутливих сенсорів при їх взаємодії з вимірюваними газами, описуються рівнянням Пуассона. Це рівняння описує розподіл електростатичного потенціалу в шарі просторового заряду в приповерхневому шарі напівпровідника. Зразок напівпровідника газочутливого елемента у нормальних умовах повинен бути електрично нейтральним. Звідки витікає, що поверхневий заряд $Q_{\text{пов}}$ повинен бути скомпенсованим рівним і протилежним по знаку зарядом в приповерхневому шарі напівпровідника. Цей заряд екранує об'єм напівпровідника від проникнення в нього електричного поля і складається з розташованих в об'ємі напівпровідника іонізованих донорів і акцепторів та рухливих електронів і дірок. Таким чином, приповерхневий шар напівпровідника є шаром просторового заряду, який екранує об'єм напівпровідника від електричного поля поверхневого заряду, причому це екранування здійснюється за рахунок того, що рівноважна концентрація електронів і дірок в шарі відрізняється від об'ємних. Більш повний і точний розв'язок рівняння Пуассона зроблено у роботі Гарретта і Браттейна, переклад якої зроблено в монографії [4]. В роботі розглядається загальний випадок напівпровідника, який знаходиться під дією збуджуючих факторів, таких як освітлення, радіація. Надалі будемо спиратися на найбільш поширений варіант розрахунків, що викладено в монографії А.В. Ржанова [5].

Визначимо повний приповерхневий опір Z_S напівпровідникового газочутливого сенсора у загальному вигляді, якщо вважати, що він уявляє собою паралельне з'єднання приповерхневої ємності C_S і активного приповерхневого опору R_S

$$Z_S = \frac{R_S}{1 + (\omega C_S R_S)^2} + \frac{R_S^2 \omega C_S}{1 + (\omega C_S R_S)^2}, \quad (1)$$

де ω - кругова частота. Приповерхневий питомий (ом/см²) активний опір у загальному випадку має вигляд [5, стор.55]

$$R_S = [q\mu_{ns}n_s(y_s, \gamma, \alpha) + q\mu_{ps}p_s(y_s, \gamma, \alpha)]^{-1}, \quad (2)$$

де q – заряд електрона, μ_{ns}, μ_{ps} – рухливості електронів і дірок, n_s, p_s – надлишок електронів і дірок в приповерхневому шарі напівпровідника, y_s – поверхневий безрозмірний електростатичний потенціал, γ – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує об'ємні властивості напівпровідника сенсора газу, α – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує ступінь порушення термодинамічної рівноваги у напівпровіднику. Концентрація надлишкових електронів і дірок описується виразом [5, стор. 53]

$$n_s(y_s, \gamma, \alpha) = \frac{1}{2} n_0 (\gamma^{-1} + \alpha) L_D \int_{y_s}^0 \frac{(e^y - 1)}{f(y, \gamma, \alpha)} dy, \quad (3)$$

$$p_s(y_s, \gamma, \alpha) = \frac{1}{2} p_0 (\gamma + \alpha) L_D \int_{y_s}^0 \frac{(e^{-y} - 1)}{f(y, \gamma, \alpha)} dy, \quad (4)$$

де n_0, p_0 – рівноважна концентрація електронів і дірок в об'ємі напівпровідника, y – безрозмірний електростатичний потенціал, функція $f(y, \gamma, \alpha)$ має вигляд [5, стор.27]

$$f(y, \gamma, \alpha) = \mp \left[(\gamma + \alpha)(e^{-y} - 1) + (\gamma^{-1} + \alpha)(e^y - 1) + (\gamma - \gamma^{-1})y \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

$$L_D = \left(\frac{\varepsilon \varepsilon_0 k T}{2\pi q^2 n_i} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

де $\varepsilon, \varepsilon_0$ – діелектричні сталі напівпровідника і вакууму, k – стала Больцмана, n_i - концентрація електронів у власному напівпровіднику, L_D – відстань проникнення електричного поля у власний напівпровідник, T – абсолютна температура. Слід зауважити, що у формулі (5) від'ємний знак попереду квадратної дужки відповідає позитивним, а позитивний знак – від'ємним значенням безрозмірного електростатичного потенціалу. Підстановка виразів (3) і (4) у рівняння (2) описує питомий активний опір напівпровідникового сенсора газу

$$R_{S(y_s, \gamma, \alpha)} = \left[\frac{1}{2} q n_i \mu_m L_D \int_{y_s}^0 \frac{(\gamma + \alpha)(e^{-y} - 1) + b_s (\gamma^{-1} + \alpha)(e^y - 1)}{f(y, \gamma, \alpha)} dy \right]^{-1}, \quad (7)$$

де $b_s = \mu_{ns} / \mu_{ps}$ – відношення рухливостей електронів і дірок. Інтеграл у виразі (7) не має розв'язку в аналітичному вигляді і повинен розраховуватися чисельно, проте при значній величині поверхневого потенціалу y_s для електронного напівпровідника інтеграл приймає приблизне значення, при цьому питомий приповерхневий опір має вигляд

$$R_{sn} = \left[q \mu_{ns} n_0 L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{\frac{1}{2}} e^{\frac{1}{2} y_s(w)} \right]^{-1}, \quad (8)$$

а для діркового напівпровідника при значних від'ємних величинах поверхневого потенціалу y_s приповерхневий активний питомий опір описується виразом

$$R_{sp} = \left[q \mu_{ps} p_0 L_D (\gamma + \alpha)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2} y_s(w)} \right]^{-1}, \quad (9)$$

де w – концентрація діючих газів на сенсор. Аналіз залежності приповерхневого активного питомого опору від поверхневого потенціалу для електронного напівпровідника показує, що при значних позитивних значеннях y_s , коли в приповерхневому шарі збагачення існує великий надлишок електронів, то цей надлишок електронів буде визначати приповерхневий опір, який експоненціально залежить від показника, що дорівнює половині величини y_s . При зменшенні y_s спочатку спостерігається зростання приповерхневого опору за цим законом. В області малих позитивних значень y_s зростання активного опору уповільнюється, оскільки в заряді шару просторового заряду все більшу роль починають грати заряд іонізованих донорів.

Перейдемо до визначення питомої ємності ($\text{пФ}/\text{см}^2$) приповерхневого шару просторового заряду напівпровідникового сенсора газу. Зв'язок між зарядом і потенціалом є нелінійним, що обумовлює диференційну ємність шару просторового заряду. З розв'язку рівняння Пуассона і загального визначення ємності отримуємо значення питомої ємності просторового заряду [5, стор.42]

$$C_{\text{пр.зар}} = \frac{q^2 n_i L_D [(\gamma^{-1} + \alpha)e^{y_s(w)} - (\gamma + \alpha)e^{-y_s(w)} + (\gamma - \gamma^{-1})]}{2kTf(y_s(w), \gamma, \alpha)}. \quad (10)$$

Для власного напівпровідника, коли $\gamma = 1$ і $\alpha = 0$, вираз (10) значно спрощується

$$C_{\text{пр.зар}} = \frac{1}{2} \frac{q^2 n_i L_D [e^{y_s(w)} - e^{-y_s(w)}]}{kT [(e^{y_s(w)} - e^{-y_s(w)} + 2)^{\frac{1}{2}}]}. \quad (11)$$

Аналіз формули (11) показує, що диференційна ємність просторового заряду приймає мінімальне значення при $y_s = 0$, коли відсутній вигин енергетичних зон. Її величина зростає як при позитивних, так і при від'ємних значеннях поверхневого потенціалу. При значеннях $y_s \geq 3$ диференційна ємність зростає пропорційно $\exp(\frac{1}{2}y_s)$. У випадку домішкових зразків напівпровідника сенсора газу залежність $C_{\text{пр.зар}}$ від поверхневого потенціалу $y_s(w)$ має аналогічний характер.

Підстановка формул (8) і (11) для напівпровідника з електронним типом провідності газового сенсора у вираз (1) дозволяє отримати залежність його повного опору від поверхневого потенціалу, який, в свою чергу, однозначно залежить від концентрації вимірюваних газів. Теоретичну залежність питомої ємності і питомої провідності від поверхневого потенціалу для різних напівпровідників з різним типом провідності подано в роботі [5, стор. 43, 59]. Теоретичну і експериментальну залежність вихідної частоти від зміни концентрації

газів можливо отримати на основі автогенераторного приладу, схему якого подано на рис. 1 [6–8].

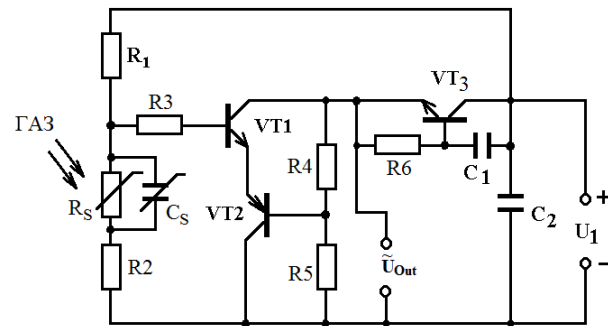


Рис. 1 Електрична схема автогенераторного перетворювача газу на основі двох біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом

Створення перетворювача концентрації газу з частотним вихідним сигналом у вигляді інтегральної схеми потребує застосування плівкової технології для виготовлення пасивного індуктивного елемента у вигляді спіралі, проте її добротність має невелике значення і, по друге, її розміри на частотах до 10^6 Гц несумісні з розмірами інтегральної схеми перетворювача. Тому для вирішення цієї задачі запропоновано використати індуктивний характер повного опору біполярного транзистора з RC – колом, яке легко виконується у вигляді інтегральної схеми [9]. Біполярні транзистори $VT1$, $VT2$ і $VT3$ реалізують автогенератор електричних коливань, в якому коливальний контур утворений ємнісною складовою повного опору на електродах колектор – колектор біполярних транзисторів $VT1$ і $VT2$ та індуктивною складовою повного опору на електродах емітер – колектор біполярного транзистора $VT3$. На електродах колектор – колектор транзисторів $VT1$ і $VT2$ існує від'ємний диференційний опір, який реалізується на спадаючій ділянці вольт – амперної характеристики перетворювача. Сама вольт – амперна характеристика розраховується на основі еквівалентної схеми пристрою для постійного струму з системи рівнянь Кірхгофа. Спадаюча ділянка лежить в діапазоні від 3В до 16В при зміні струмів від 1мА до 8,5 мА. Від'ємний диференційний опір перетворює енергію постійного електричного поля в енергію змінного електричного поля, що дозволяє компенсувати втрати енергії в коливальному контурі перетворювача.

Функція перетворення, що описує залежність вихідної частоти перетворювача від зміни концентрації газу, визначається на основі нелінійної еквівалентної схеми по змінному струму, вихо-

дючи з електричної схеми (рис. 1). З системи рівнянь Кірхгофа, що складені на основі нелінійної еквівалентної схеми перетворювача по змінному струму, розраховується повний вихідний опір на електродах колектор - колектор транзисторів VT1 і VT2. Систему рівнянь Кірхгофа було розв'язано за допомогою пакету прикладних програм Matlab 9.2 [10], що дозволило отримати значення повного вихідного опору, активна складова якого має від'ємне значення, а реактивна складова – ємнісний характер. З рівняння, коли реактивна складова дорівнює нулю, визначаємо залежність вихідної частоти $F_0(w)$ перетворювача від концентрації газу, яка має вигляд

$$F_0(w) = \frac{1}{(12)^2 \pi R_g(w) C_{ekv}(w)} \left[\frac{R_g^2(w) C_{ekv}(w)}{L} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

де $R_g(w)$ – диференційний від'ємний опір коливального контуру, $C_{ekv}(w)$ – еквівалентна ємність коливального контуру, L – величина активної індуктивності, w - концентрація вимірюваного газу. На рис. 2 подано залежність вихідної частоти автогенераторного перетворювача від зміни концентрації газу метану CH_4 . Газочутливим елементом був сенсор фірми Figaro (Японія).

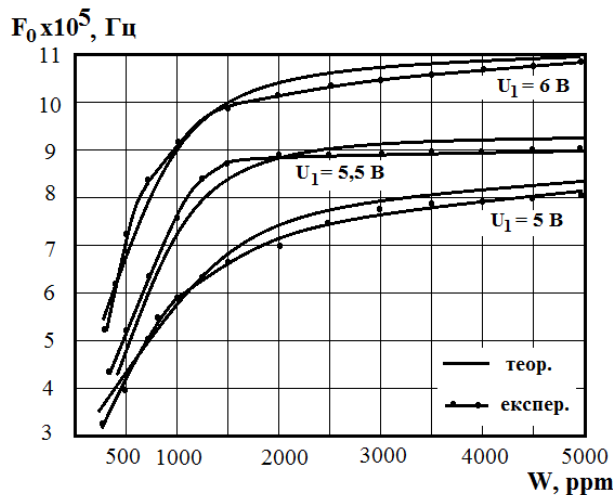


Рис. 2. Теоретична і експериментальна залежності вихідної частоти автогенераторного перетворювача від концентрації метану

Чутливість перетворювача визначається на основі виразу (12) шляхом диференціювання його по аргументу w і описується формулою

$$S_{F_0}^w = \frac{R_g(w) C_{ekv}(w) \frac{dR_g(w)}{dw} + R_g^2(w) \frac{dC_{ekv}(w)}{dw}}{4\pi R_g(w) C_{ekv}(w) L \left[\frac{R_g^2(w) C_{ekv}(w)}{L} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}} - \frac{\left[\frac{R_g^2(w) C_{ekv}(w)}{L} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \frac{dR_g(w)}{dw}}{2\pi R_g^2(w) C_{ekv}(w)} - \frac{\left[\frac{R_g^2(w) C_{ekv}(w)}{L} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \frac{dC_{ekv}(w)}{dw}}{2\pi R_g(w) C_{ekv}^2(w)}. \quad (13)$$

Як показали розрахунки, згідно формули (13), чутливість пристрою складала в діапазоні від 300 ppm до 1000 ppm 260 Гц/ppm, а в діапазоні від 1000 ppm до 5000 ppm – 115 Гц/ppm. Необхідні значення параметрів для теоретичних розрахунків було отримано з робіт [11-14].

Висновки.

Аналіз фізичних процесів на поверхні напівпровідникових сенсорів газу показав, що у формуванні приповерхневого шару просторового заряду відіграють надлишкові рухомі носії заряду – електрони та дірки, тому питомий поверхневий опір визначається їх концентрацією, яка помножена на відповідні рухливості та елементарний заряд. З другого боку, зміна заряду в шарі просторового заряду при зміні поверхневого електростатичного потенціалу характеризується введенням поняття диференціальної ємності шару просторового заряду. Таким чином, повний опір напівпровідникових сенсорів газу складається з паралельного з'єднання ємності приповерхневого шару просторового заряду і приповерхневого опору.

Зміна повного опору первинних напівпровідникових сенсорів газу від зміни концентрації вимірюваних газів характеризує газореактивний ефект сенсорів, який однозначно змінює вихідну частоту автогенераторних перетворювачів газу. Визначено функцію перетворення і рівняння чутливості пристрою, причому чутливість складала 260 Гц/ppm в діапазоні від 300 ppm до 1000 ppm, а в діапазоні від 1000 ppm до 5000 ppm – 115 Гц/ppm.

Список літератури:

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин / В. Вуйцик, З.Ю. Готра, О.З. Готра та ін.; за ред. З. Ю. Готри. Львів: Ліга-прес, 2002. Т.2. 475 с.
2. Арутюнян В.М. Микроэлектронные технологии – магистральный путь для создания химических твердотельных сенсоров. *Микроэлектроника*. 1991. № 4. С. 337–355.
3. Новицкий П.В., Кноринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. Ленинград: Энергия, 1970. 424 с.
4. Проблемы физики полупроводников. Сборник статей (перевод с английского) / под ред. В.Л. Бонч-Бруевича. Москва: Изд. Иностранная литература, 1957. 628 с.
5. Ржанов А.В. Электронные процессы на поверхности полупроводников. Москва: Изд. Наука, 1971. 480 с.

6. Осадчук В. С., Осадчук О.В., Прокопова М.О. Математична модель мікроелектронного частотного газового перетворювача. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2003. № 4. С. 94–98.
7. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S. Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities. Proceedings of the International Siberian Conference on Control and Communications. (Omsk, 21–23 May 2015). Omsk, 2015. 978-1-4799-7103-9/15. DOI: 10.1109/SIBCON. 2015.7147167
8. Osadchuk A., Osadchuk V., Seletska O., Krylik L. Microelectronic Transducer of Gas Concentration based on MOSFET with an Active Inductive Element. *PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY*. 2019. № 4. P. 237–241.
9. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. Вінниця: Універсум–Вінниця, 1999. 276 с.
10. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. Москва: ДМК Пресс, 2012. 768 с.
11. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: учеб. пособие. Москва: ДМК–Пресс, 2008. 336 с.
12. User's Guide includes PSPICE A/D, PSPICE A/D Basics and PSPICE Cadence Design Systems. Inc. All rights reserved, 2016. 898 p.
13. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Москва: Мир, 1984. Т. 2. 486 с.
14. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника / под ред. В. А. Терехова. Москва: Высшая школа, 1991. 351 с.

ВЛИЯНИЕ ГАЗОРЕАКТИВНОГО ЭФФЕКТА ПЕРВИЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ ГАЗА НА ВЫХОДНУЮ ЧАСТОТУ АВТОГЕНЕРАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В работе рассмотрен механизм образования полного сопротивления полупроводниковых сенсоров газа, в которых активная составляющая определяется приповерхностным удельным сопротивлением, а реактивная составляющая – приповерхностной удельной емкостью. Зависимость величины полного сопротивления от изменения концентрации измеряемых газов характеризует суть газореактивного эффекта сенсоров, что однозначно изменяет выходную частоту автогенераторных преобразователей газа. Определены функции преобразования и уравнения чувствительности автогенераторного преобразователя газа, причем чувствительность устройства в диапазоне от 300 ppm до 1000 ppm составляет 260 Гц/ppm, а в диапазоне от 1000 ppm до 5000 ppm – 115 Гц/ppm.

Ключевые слова: автогенераторный преобразователь газа, газореактивный эффект, реактивные свойства полупроводников, полное сопротивление.

INFLUENCE OF THE GAS-REACTIVE EFFECT OF PRIMARY SEMICONDUCTOR GAS SENSORS ON THE OUTPUT FREQUENCY OF AUTOGENERATOR TRANSDUCERS

The paper considers the mechanism of formation of the impedance of semiconductor gas sensors, in which the active component is determined by the surface resistance, and the reactive component is determined by the surface capacitance. The dependence of the magnitude of the impedance on changes in the concentration of active gases characterizes the essence of the gas-reactive effect of the sensors, which unambiguously changes the output frequency of autogenerating gas transducers. The conversion functions and the sensitivity equations of an autogenerating gas transducer have been determined, with the device sensitivity ranging from 300 ppm to 1000 ppm being 260 Hz/ppm, and ranging from 1000 ppm to 5000 ppm – 115 Hz/ppm.

Key words: autogenerating gas transducer, gas-reactive effect, reactive properties of semiconductors, impedance.

Відомості про авторів

Агафонова І.П. – старший викладач кафедри інженерно-екологічних систем Бендерського політехнічного філіалу Придністровського державного університету, м. Бендери, Молдова;

Антоненко А.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

Бабенко В.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок і косметичних засобів Національного університету харчових технологій;

Бажай-Жежерун С.А. – кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій;

Бандуренко Г.М. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри харчових технологій Київського кооперативного інституту бізнесу і права;

Бердниченко Ю.А. – кандидат історичних наук, доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

Береза-Кіндзерська Л.В. – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету харчових технологій;

Білик С.І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури;

Блащук Н.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету;

Богом'я В.І. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Дунайського факультету морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Болгова Н.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент Сумського національного аграрного університету;

Бондар С.М. – кандидат технічних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

Борисов А.В. – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри мікроелектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Бурлуцький О.В. – кандидат технічних наук, завідувач лабораторіями кафедри «Механіка і проектування машин» Українського державного університету залізничного транспорту;

Віннікова В.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Гайдай І.В. – кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва;

Гапонцева О.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Гаркович О.Л. – кандидат біологічних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

Гейнак О.І. – магістрант кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій;

Головіна О.В. – кандидат технічних наук, завідувач кафедри автомобільного транспорту і транспортних технологій Філії Класичного приватного університету в м. Кременчук;

Гомеля М.Д. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Гречко В.В. – аспірант Проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій;

Грищенко І.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

Губа С.О. – старший викладач Сумського національного аграрного університету;

Гуйда О.Г. – доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дакі О.А. – кандидат філологічних наук, декан Дунайського факультету морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Данилян А.Г. – старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок і систем Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

Денисюк І.І. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України;

Дзюба Н.А. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування Одеської національної академії харчових технологій;

Дмитрієва Н.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури;

Дочинець І.В. – асистент кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій;

Єресь І.О. – магістр Сумського національного аграрного університету;

Зволинська В.В. – магістр Київського університету культури;

Земліна Ю.В. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

Землякова О.В. – асистент кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування Одеської національної академії харчових технологій;

Казанцев Ю.В. – викладач Сумського національного аграрного університету;

Кириченко Г.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Технологій транспорту та управління процесами перевезень» Державного університету інфраструктури та технологій;

Кирпіченкова О.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій;

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

Коваленко І.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та природоохоронних технологій Одеської національної академії харчових технологій;

Кожушко А.П. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобіле- та тракторобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Козлова О.С. – старший викладач кафедри електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Комарчук Д. – доцент кафедри автоматики та систем робототехніки імені академіка І.І. Мартиненко Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Королевич Л.М. – асистент кафедри мікроелектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Крусір Г.В. – доктор технічних наук, професор Одеської національної академії харчових технологій;

Кузнєцова І.О. – кандидат технічних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

Кусень О.Б. – гірничий інженер-маркшейдер, дільничний маркшейдер Товариства з обмеженою відповідальністю «Донецьксталь»;

Левківська Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології консервування Національного університету харчових технологій;

Лемешко В.А. – науковий співробітник Інституту геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України;

Лисенко О.І. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Лисюк Г.П. – старший викладач кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Луценко Л.С. – магістрант кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок і косметичних засобів Національного університету харчових технологій;

Масвська І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету;

Макаринська А.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології комбікормів і біопалива Одеської національної академії харчових технологій;

Маслов І.З. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри суднових енергетичних установок і систем Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

Матенчук Л.Ю. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва;

Назимко В.В. – доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту фізики гірничих процесів НАН України;

Осадчук В.С. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету;

Осадчук О.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету;

Осадчук Я.О. – кандидат технічних наук, науковий співробітник кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету;

Павлюк Є.І. – студент Державного університету інфраструктури та технологій;

Пасічний В.М. – доктор технічних наук, професор кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів Національного університету харчових технологій;

Петік Т.В. – студентка кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Петриковець О.В. – старший викладач кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

Писарев М.Г. – асистент кафедри технології консервування Національного університету харчових технологій;

Поляковська Т.С. – провідний інженер Інституту геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України;

Поморцева О.Є. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри земельного адміністрування та ГІС Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Потапенко О.О. – магістр Київського університету культури;

Прилуцький Є.В. – магістрант 1-го курсу навчання енергетичного факультету Української інженерно-педагогічної академії;

Приходько К.О. – викладач кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв;

Прокопенко П.М. – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій;

Радзієвська І.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок і косметичних засобів Національного університету харчових технологій;

Расамакіна Ю.В. – магістр Сумського національного аграрного університету;

Редчиц В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту і транспортних технологій Філії Класичного приватного університету в м. Кременчуг;

Редчиц С.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту і транспортних технологій Філії Класичного приватного університету в м. Кременчуг;

Романовська О.Р. – старший викладач кафедри гуманітарних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

Савченко Н.П. – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування Донбаської національної академії будівництва і архітектури;

Самілик М.М. – кандидат технічних наук, старший викладач Сумського національного аграрного університету;

Селютіна Г.А. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Сильчук Т.А. – доктор технічних наук, доцент кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій;

Солодко Л.М. – аспірант кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій;

Степаненко М.О. – магістрант кафедри будівельної інженерії та економіки Бендерського політехнічного філіалу Придністровського державного університету, м. Бендери, Молдова;

Сторож Я.Б. – кандидат технічних наук, генеральний директор Державної установи «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці»;

Страшинський І.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів Національного університету харчових технологій;

Стрелко О.Г. – доктор історичних наук, професор, професор кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

Тачиніна О.М. – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту Національного авіаційного університету;

Твердохліб М.М. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Тимошук О.М. – доктор технічних наук, доцент, директор інституту Державного університету інфраструктури та технологій;

Тирон-Воробйова Н.Б. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри загальнонаукових дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

Тихолаз О.О. – магістрант Вінницького національного технічного університету;

Тогачинська О.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету харчових технологій;

Токар А.Ю. – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва;

Трет'як А.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування Донбаської національної академії будівництва і архітектури;

Трубнікова А.А. – аспірант Одеської національної академії харчових технологій;

Турпурова Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології комбікормів і біопалива Одеської національної академії харчових технологій;

Федорова Д.В. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технології і організації ресторанного господарства Київського національного торговельно-економічного університету;

Фомін О.В. – доктор технічних наук, доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій;

Фоміна А.М. – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;

Фролова Л.А. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин і екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»;

Харченко В.Ф. – доктор технічних наук, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Харченко З.М. – старший викладач кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва;

Хацкевич Ю.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Худенко Н.П. – кандидат фізико-математичних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

Чабанова О.Б. – кандидат технічних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

Черевична Н.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі;

Чумакова Н.В. – начальник відділу Комунального підприємства «Київський метрополітен»;

Шарахматова Т.Є. – кандидат технічних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

Юрченко В.В. – доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури.

НОТАТКИ

Науковий журнал

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

Серія: Технічні науки

Том 30 (69) № 3 2019

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. 20,01. Ум.-друк. арк. 27,20. Зам. № 0719/156

Підписано до друку 27.06.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.