

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



ПРАЦІ

Таврійського державного
агротехнологічного університету
Технічні науки

PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY
Technical sciences

*Виходить 3 рази на рік
Видається з 1998 р.*

Випуск 25, том 1
Issue 25, volume 1

WEB: <https://oj.tsatu.edu.ua>

DOI: 10.32782/2078-0877-2025-25-1



Видавничий дім
«Гельветика»
2025



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. Вип. 25, т. 1. 160 с.

ISSN 2078-0877

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Головний редактор

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Editor in chief

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of Ukraine,
Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Заступники головного редактора

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України, д-р техн. наук,
проф. (Україна)
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Deputy editors in chief

Nadykto V., corresponding member of NAAS of Ukraine,
Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Відповідальний секретар

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Executive secretary

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Белосев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімоні, PhD, доц. (Італія)
Финдура Павол, PhD, проф. (Словакія)
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

SECTORAL MACHINE BUILDING

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнєцов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,
ELECTRICAL ENGINEERING AND
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pliuhin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)



КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Гавриленко С. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Ляковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Холодник Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Євлаш В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**

Випуск 25, том 1

Засновник

Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:
Рішення Національної ради України з питань телебачення і
радіомовлення № 1673 від 23.05.2024 року.

Ідентифікатор медіа: R30-04777.

Суб'єкт у сфері медіа – Таврійський державний
агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
(просп. Богдана Хмельницького, буд. 18, м. Мелітополь
Запорізької обл., 72312, office@tsatu.edu.ua,
тел. (099) 614-83-02).
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного
Протокол № 8 від 25.03.2025 р.

Відповідно до наказу МОН від 17.03.2020 № 409 видання
включено до Переліку наукових фахових видань України
категорії Б за спеціальностями: F3 Комп'ютерні науки,
G11 Машинобудування (за спеціалізаціями), G3 Електрична
інженерія, G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією),
G13 Харчові технології

Адреса редакції

Юридична: 72312, Запорізька обл.
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
Фактична: 69600, Запорізька обл. м. Запоріжжя,
вул. Жуковського, 66
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
DOI: 10.32782/2078-0877-2025-25-1

COMPUTER SCIENCES

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

FOOD TECHNOLOGIES

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Issue 25, volume 1

Founder

Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 1998

Print media registration: Decision of the National Council
of Ukraine on Television and Radio Broadcasting
No. 1673 as of 23.05.2024. Media ID: R30-04777.

The media entity is Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University (72312, Zaporizhzhia region,
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave,
office@tsatu.edu.ua, tel. (099) 614-83-02).

Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 8, dated March 25, 2025

According to the Order of the MES of Ukraine as of 17.03.2020,
No. 409, the journal is included in the List of professional
scientific editions of Ukraine (category "B") in the following
specialties: F3 Computer Sciences, G11 Mechanical Engineering
(by specialization), G3 Electrical Engineering, G4 Energy
Production (by specialization), G13 Food Technology

Address of the Editorial office

Legal address: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave.

Actual address: 69600, Zaporizhzhia region Zaporizhzhia, 66,
Zhukovskiy Str.

<https://oj.tsatu.edu.ua>,

DOI: 10.32782/2078-0877-2025-25-1

© Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, 2025



ЗМІСТ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>О. С. Ковязін, І. О. Чижиков, О. О. Дереза, А. С. Пастушенко</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА АДАПТАЦІЮ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН.....	8
<i>В. П. Кувачов, В. М. Дружич, С. О. Шевченко, К. О. Зеленов</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ КОПАЧА НА ВЕРТИКАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ КОЛІС МАЛОГАБАРИТНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО АГРЕГАТУ.....	15
<i>В. М. Марчевський, О. А. Новохат, В. В. Філіпов</i> КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СУШІННЯ БІШОФІТУ ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ.....	21
<i>В. Т. Надикто, Г. А. Петров</i> ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНOSTІ РУХУ ОРНОГО МТА З ФРОНТАЛЬНИМ ПЛУГОМ БЕЗ ОПОРНОГО КОЛЕСА.....	30
<i>А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко, І. М. Холод, А. А. Волошин</i> ВПЛИВ ПОХИБКИ ЗУБЧАСТОГО ПРОФІЛЮ РОТОРІВ ПЛАНЕТАРНОГО ГІДРОМОТОРА НА ЙОГО ТЕХНІЧНИЙ СТАН.....	36
<i>О. Г. Скляр, Р. В. Скляр, Б. В. Болтянський, С. В. Сиротюк, С. В. Коробка</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОФІЛЬТРІВ У БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ.....	45
<i>С. П. Степаненко, Б. І. Котов, Д. А. Волик, В. А. Мельник</i> ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНІВКИ ДЕКОЮ З ПУЛЬСУВАЛЬНИМ ПОВІТРЯНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ.....	54

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>О. Ю. Вовк, І. О. Попова</i> ПОКРАЩЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ СИМЕТРИЧНОГО ТРИФАЗНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ ЖИВИЛЬНИХ НАПРУГ	64
<i>С. М. Дудніков, С. В. Галько, О. О. Мірошник, О. А. Савченко, Д. М. Зеленков</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЄДИНУ ЕНЕРГЕТИЧНУ СИСТЕМУ.....	73

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>В. М. Бандура, О. П. Прісс, Т. О. Колісниченко, Д. І. Сердюк</i> РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ НИЗЬКОКАЛОРІЙНОГО ЛИМОНАДНОГО КОНЦЕНТРАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАТУРАЛЬНИХ ПІДСОЛОДЖУВАЧІВ.....	85
<i>В. М. Бандура, Л. В. Фіалковська</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПЕРЕЕТЕРИФІКОВАНИХ ЖИРІВ.....	93

<i>І. М. Дударев, С. Р. Ющук, Р. Ю. Кухар</i> РОЗРОБЛЕННЯ КРАФТОВОГО НАПОЮ ДЛЯ ВЕГЕТАРІАНЦІВ.....	99
<i>Д. Б. Кічура, Р. О. Субтельний, І. Б. Милянська</i> ЙОГУРТИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ КІНОА.....	107
<i>І. П. Паламарчук, Ф. Юанься, Н. П. Загорко, В. В. Бочарнікова</i> ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗРАЗКІВ КИТАЙСЬКИХ КОВБАС ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ «ФАКТОРНИХ ПЛОЩ» ЗА ВМІСТОМ МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ.....	115
<i>Д. О. Петраченко</i> ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОБРУШУВАЧА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЛУЧЕННЯ ЯДРА НАСІННЯ КОНОПЕЛЬ.....	126
<i>Т. В. Семко, О. В. Пахомська</i> ВИМОГИ ДО РАЦІОНУ ХАРЧУВАННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ.....	133
<i>Т. В. Семко, О. В. Пахомська</i> ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА.....	141
<i>О. Є. Сокоот</i> ОЦІНКА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ХЛІБА З ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА З ДОДАВАННЯМ ФАРШУ З ВІДВАРЕНИХ ГРИБІВ ГЛИВИ ЗВИЧАЙНОЇ.....	147
<i>Л. В. Фіалковська</i> УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ХАЛВИ	153

CONTENTS

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING

<i>O. Koviazin, I. Chyzhykov, O. Dereza, A. Pastushenko</i> ANALYSIS OF THE IMPACT OF TEMPERATURE ON THE ADAPTATION AND PRODUCTIVITY OF FARM ANIMALS.....	8
<i>V. Kuvachov, V. Druzhych, S. Shevchenko, K. Zelenov</i> RESEARCH ON THE IMPACT OF DIGGER PARAMETERS ON THE VERTICAL LOAD OF SMALL-SCALE MECHANIZED UNIT WHEELS.....	15
<i>V. Marchevskiy, O. Novokhat, V. Filipov</i> KINETIC REGULARITIES OF BISCHOFITE DRYING BY INFRARED RADIATION....	21
<i>V. Nadykto, G. Petrov</i> CONTROLLABILITY STUDY OF THE PLOUGH MOTION WITH FRONT PLOUGH WITHOUT SUPPORT WHEEL.....	30
<i>A. Panchenko, A. Voloshina, I. Panchenko, I. Kholod, A. Voloshin</i> THE INFLUENCE OF THE ERROR OF THE TOOTHED PROFILE OF THE ROTORS OF A PLANETARY HYDRAULIC MOTOR ON ITS TECHNICAL CONDITION.....	36
<i>O. Skliar, R. Skliar, B. Boltianskyi, S. Syrotyuk, S. Korobka</i> PROSPECTS FOR THE USE OF BIOFILTERS IN BIOGAS PLANTS.....	45
<i>S. Stepanenko, B. Kotov, D. Volyk, V. Melnyk</i> NUMERICAL MODELING OF THE PROCESS OF VIBRATIONAL MOVEMENT OF GRAIN ON A DECK WITH A PULSATING AIR ENVIRONMENT.....	54

ELECTRICAL POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>O. Vovk, I. Popova</i> IMPROVEMENT OF THE OPERATING MODE OF A SYMMETRICAL THREE-PHASE LOAD IN THE EVENT OF ASYMMETRY OF SUPPLY VOLTAGES.....	64
<i>O. Dudnikov, S. Halko, O. Miroshnyk, O. Savchenko, D. Zelenkov</i> PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE UNIFIED ENERGY SYSTEM.....	73

FOOD TECHNOLOGY

<i>V. Bandura, O. Priss, T. Kolysnichenko, D. Serdiuk</i> DEVELOPMENT OF A LOW-CALORIE LEMONADE CONCENTRATE RECIPE USING NATURAL SWEETENERS	85
<i>V. Bandura, L. Fialkovska</i> IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF INTERESTERIFIED FATS.....	93
<i>I. Dudarev, S. Yushchuk, R. Kukhar</i> DEVELOPMENT OF A CRAFT DRINK FOR VEGETARIANS.....	99

<i>D. Kichura, R. Subtelny, I. Mylianova</i> FUNCTIONAL YOGURTS BASED ON QUINOA.....	107
<i>I. Palamarchuk, Yuanxia Fu, N. Zagorko, V. Bocharnikova</i> QUALITY ASSESSMENT OF CHINESE SAUSAGE SAMPLES USING MATHEMATICAL MODELS OF “FACTORIAL AREAS” BY THE CONTENT OF MINERAL COMPONENTS.....	115
<i>D. Petrachenko</i> IMPACT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A CENTRIFUGAL SHELLER ON THE EFFICIENCY OF KERNEL EXTRACTION FROM HEMP SEEDS.....	126
<i>T. Semko, O. Pakhomska</i> REQUIREMENTS FOR THE NUTRITION OF MILITARY SERVICEMEN OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE.....	133
<i>T. Semko, O. Pakhomska</i> USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RESTAURANT ESTABLISHMENTS.....	141
<i>O. Sokot</i> EVALUATION OF QUALITY INDICATORS OF BREAD MADE FROM WHEAT FLOUR WITH THE ADDITION OF MUSHROOM SEMI-FINISHED PRODUCTS.....	147
<i>L. Fialkovska</i> IMPROVEMENT OF THE RECIPE AND TECHNOLOGY OF HALVAH PRODUCTION.....	153



ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.32782/2078-0877-2025-25-1-1

УДК 636.09:591.11

О. С. Ковязін¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3027-872X

І. О. Чижиков¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3022-4828

О. О. Дереза¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-2652-9853

А. С. Пастушенко², канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-2540-3677

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

²Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА АДАПТАЦІЮ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

Анотація. Проаналізовано вплив температурного режиму на адаптацію та продуктивність сільськогосподарських тварин. Розглянуто критичні температурні межі для різних видів тварин, їхні адаптаційні механізми до змін температури та наслідки теплового й холодового стресу. Визначено, що підвищена температура спричиняє зниження надоїв молока, уповільнення набору маси у свиней і зменшення яйценоскості в птиці. Низькі температури мають менш виражений вплив на продуктивність, оскільки тварини частково компенсують втрати енергії завдяки підвищеному споживанню корму.

Ключові слова: мікроклімат, терморегуляція, комфортні умови, критичні межі, тепловий стрес, фізіологічні реакції, адаптаційні можливості, ефективність виробництва.

Постановка проблеми. Мікроклімат у тваринницьких приміщеннях є визначальним фактором, що впливає на фізіологічний стан, продуктивність та добробут сільськогосподарських тварин. Значне відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних може призводити до теплового чи холодового стресу, зниження продуктивності, підвищеної захворюваності, а в кінцевому підсумку – до економічних втрат у галузі тваринництва.

Попри значну кількість наукових досліджень у цій сфері, все ще є потреба в комплексному аналізі впливу основних параметрів мікроклімату на фізіологічні процеси та продуктивність сільськогосподарських тварин. Крім того, необхідна розробка ефективних, науково обґрунтованих заходів щодо оптимізації мікроклімату в тваринницьких приміщеннях, що дасть змогу мінімізувати негативні наслідки мікрокліматичних змін і підвищити продуктивність галузі.

Аналіз останніх досліджень. У науковій літературі представлено значну кількість досліджень, присвячених впливу основних параметрів мікроклімату на продуктивність сільськогосподарських тварин. Основними досліджуваними факторами є температура повітря [1; 2], вологість повітря [3], швидкість руху повітря, концентрація шкідливих газів, запиленість, освітлення, рівень шуму, сонячна радіація, властивості підлоги та щільність утримання тварин.

Різні види сільськогосподарських тварин мають специфічні фізіологічні та поведінкові адаптації до змін мікроклімату. У роботах [4; 5] визначено оптимальні діапазони температури та вологості для забезпечення комфортних умов утримання тварин.

Однак, незважаючи на значний науковий інтерес до цієї проблематики, питання впливу окремих мікрокліматичних факторів, їх взаємодії та адаптаційних механізмів тварин досі зали-

шається недостатньо вивченим. Так, проблема регулювання мікроклімату у тваринницьких приміщеннях вирішена частково й залишається актуальною.

Формулювання мети статті. Мета роботи – узагальнити та проаналізувати наукові дослідження щодо впливу температурного режиму на продуктивність основних видів сільськогосподарських тварин.

Основна частина. Температура та вологість повітря є ключовими параметрами, що визначають мікроклімат у тваринницьких приміщеннях, оскільки вони безпосередньо впливають на фізіологічний стан, продуктивність і комфорт тварин. Кореляція між параметрами мікроклімату є складною і багатофакторною, що залежить від виду тварин, технологій утримання та вентиляційної системи. Оптимальне регулювання температури та вологості дає змогу контролювати інші параметри мікроклімату, забезпечуючи сприятливі умови для тварин.

Розглянемо рис. 1, який ілюструє взаємозв'язок між температурою та вологістю навколишнього повітря, критичними температурами та фізіологічною реакцією тварин на тепловий і холодний стрес. Нижня критична температура (далі – НКТ) та верхня критична температура (далі – ВКТ) визначають межі термонеutralної зони, у границях якої тварина не витрачає додаткової енергії для підтримання стабільної температури тіла [6].

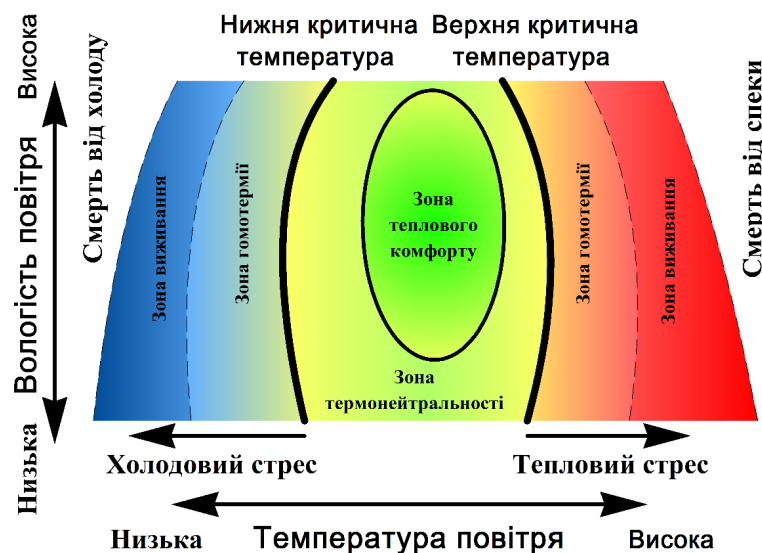


Рис. 1. Характер впливу температури та вологості повітря на фізіологічні реакції тварини

Поза границями термонеutralної зони тварини зазнають стресу через надто низькі або високі температури, що впливає на процеси теплоутворення та загальний фізіологічний стан організму. За температури нижче НКТ тварина змушена посилювати теплоутворення, тоді як за температури вище ВКТ організм активує механізми тепловіддачі. В екстремальних умовах це може спричинити летальні наслідки – перегрів або переохолодження [7].

Зона комфорту розташована всередині термонеutralної зони та охоплює діапазон температур, за яких тварина почувається найбільш комфортно, не потребуючи додаткових механізмів терморегуляції.

Вплив температури та вологості повітря на фізіологічний стан організму є комплексним процесом, у якому обидва фактори взаємодіють, визначаючи рівень теплового комфорту або стресу. Саме баланс між температурою та вологістю формує певні зони, у яких тварина або почувається комфортно, або змушена активувати механізми терморегуляції для вижи-

вання. Ці зони можна узагальнити під єдиним поняттям – «зони температурної адаптації», що відображає межі можливостей організму підтримувати стабільний стан за різних кліматичних умов.

Для кількісної оцінки теплового стресу в сільськогосподарських тварин введено температурно-вологісний індекс *THI* (*Temperature-Humidity Index*) [8]. Він поєднує вплив температури повітря та відносної вологості в одне значення, яке відображає рівень теплового стресу.

Індекс *THI* варіюється для різних груп тварин, оскільки чутливість до температури та вологості залежить від виду, фізіологічних особливостей і рівня продуктивності. Тварини з різними адаптаційними можливостями по-різному реагують на зміну мікроклімату.

Цей індекс є важливим інструментом для оцінки впливу мікрокліматичних умов на комфорт і продуктивність тварин.

Тепловий стрес у сільськогосподарських тварин виникає частіше через обмежені можливості терморегуляції, високий рівень тепловиділення, недостатню вентиляцію приміщень та вплив сучасних технологій вирощування. На відміну від нього, холодний стрес легше компенсується завдяки підвищеному споживанню корму, розвитку адаптивних механізмів та поведінкових реакцій. Саме тому перегрівання становить більшу загрозу для тварин, ніж переохолодження, і потребує більш ретельних заходів профілактики.

У межах дослідження основна увага приділятиметься впливу температури, оскільки вона є визначальним фактором у процесах теплообміну та терморегуляції організму тварин. Крім того, регулювання температурного режиму є більш передбачуваним і контрольованим, що дає змогу оцінити його вплив на продуктивність та фізіологічний стан тварин із високим рівнем точності [9].

На основі досліджень [10–15] побудовано графіки (рис. 2–4), що ілюструють вплив температури навколишнього середовища на продуктивність молочних корів, свиней та курей-несучок.

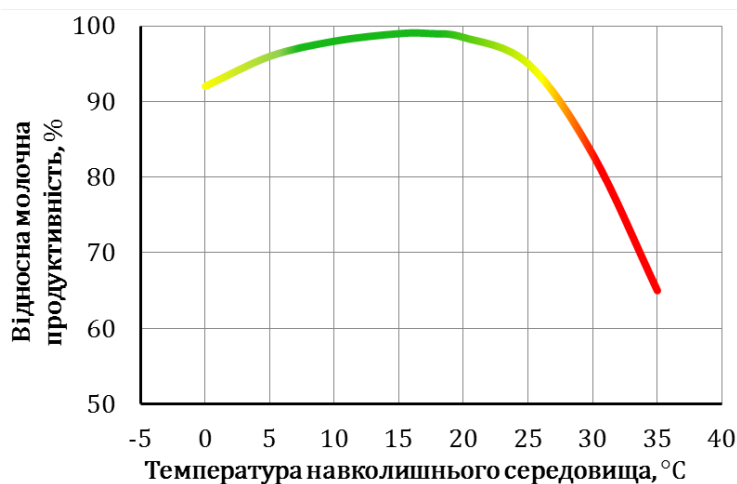


Рис. 2. Залежність відносної молочної продуктивності корів від температури навколишнього середовища

Аналіз рисунка 2 свідчить, що оптимальний температурний діапазон для молочних корів є відносно широким й охоплює межі 5–25 °C. У зазначеному діапазоні зберігається стабільний рівень молочної продуктивності, що підтверджує високу адаптивну здатність тварин до коливань температури.

В умовах спекотного клімату спостерігається негативний вплив високих температур на надої. Зокрема, кожне підвищення температури понад 25 °C може спричинити зниження

надоїв на 0,8–1,0 кг на добу, а вміст жиру в молоці зменшується на 0,2–0,3 відсоткові пункти. Це явище пояснюється терморегуляторними механізмами корів, що в умовах гіпертермії призводять до скорочення споживання корму та збільшення тепловіддачі завдяки підвищеному диханню.

Низькі температури мають менш виражений вплив на продуктивність, проте за значного зниження температурного режиму можливе уповільнення молокоутворювальних процесів. Це пов'язано з додатковими енергетичними затратами тварин на терморегуляцію, що може зумовлювати незначне зниження продуктивності.

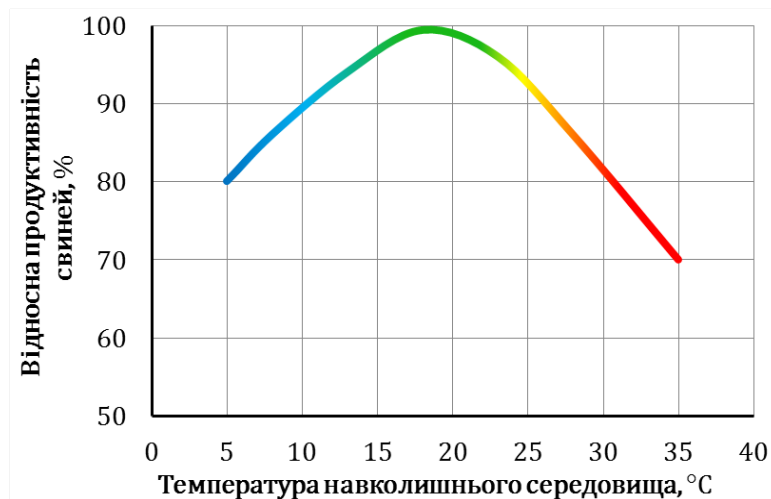


Рис. 3. Залежність відносної продуктивності свиней від температури навколишнього середовища

Аналіз рисунка 3 демонструє, що оптимальний температурний діапазон для свиней становить 16–23 °C. У зазначених умовах тварини характеризуються найвищими показниками середньодобового приросту маси тіла та оптимальним рівнем споживання корму. При зниженні температури до 5–10 °C ефективність конверсії корму зменшується, оскільки значна частина енергії витрачається на терморегуляцію. Проте продуктивність знижується поступово, оскільки свині компенсують теплові втрати шляхом збільшення споживання корму.

У разі підвищення температури понад 25 °C відзначається розвиток теплового стресу, що призводить до зниження споживання корму, сповільнення росту та погіршення м'ясної продуктивності. Особливо різке зниження продуктивності спостерігається при температурі 30–35 °C. Це явище зумовлене недостатньо розвинутою системою терморегуляції у свиней, оскільки вони не здатні до потовиділення, що підвищує чутливість до гіпертермії. Відгодівельні свині за умов високих температур (>30 °C) знижують рівень споживання корму до 40 %, що суттєво уповільнює їх ріст та негативно впливає на економічну ефективність відгодівлі.

Як видно з рисунка 4, несучість курей також безпосередньо залежить від температури навколишнього середовища. Оптимальний температурний діапазон для курей-несучок становить 18–25 °C, що забезпечує стабільну яйценосність та високу якість продукції.

Підвищення температури понад 30 °C значно знижує продуктивність, а також негативно впливає на якісні характеристики яєць, спричиняючи зменшення товщини шкаралупи та маси яйця. Це, своєю чергою, може погіршувати товарні властивості продукції та підвищувати ризик механічного пошкодження яєць під час зберігання й транспортування. Основними при-

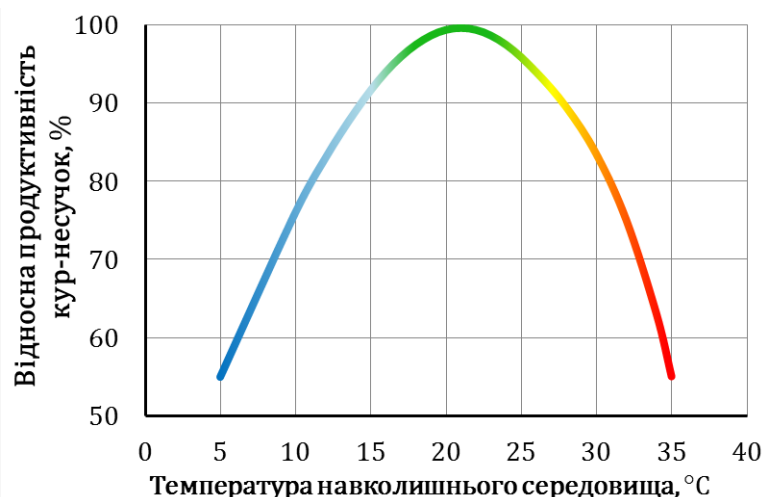


Рис. 4. Залежність відносної продуктивності курей-несучок від температури навколишнього середовища

чинами таких змін є порушення терморегуляції, зменшення споживання корму та дисбаланс метаболічних процесів, необхідних для формування яєць.

Низькі температури ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) також спричиняють зниження яйценосності, оскільки птиця змушена витратити більше енергії на підтримання терморегуляції, ніж на процеси формування яєць. Утім, їхній вплив є менш критичним порівняно з тепловим стресом. У холодних умовах кури-несучки частково компенсують втрати тепла завдяки збільшеному споживанню корму, що дає змогу певною мірою зберігати продуктивність.

Ширина температурної толерантності відрізняється залежно від виду тварин. Дослідження [16] показують, що дрібні тварини, як правило, мають вузький діапазон комфортної температури порівняно з більшими тваринами.

Це пояснюється тим, що дрібні організми мають більшу відносну площу поверхні тіла порівняно з їхнім об'ємом, що підвищує чутливість до коливань температури. Як видно з графіків (рис. 2–4), молочні корови демонструють широкий температурний діапазон толерантності ($5\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$), тоді як свині та, особливо, кури-несучки більш вразливі до змін мікроклімату.

Кури-несучки швидко втрачають тепло через високу відносну площу поверхні тіла та значну метаболічну активність, що зумовлює підвищену чутливість до коливань температури.

Тепловий стрес негативно впливає на якість м'яса всіх видів тварин. Зокрема, у свиней, що зазнали перегріву перед забоєм, частіше спостерігається PSE-м'ясо (pale, soft, exudative) – бліде, м'яке та водянисте [17]. У яловичини можливе потемніння м'яса внаслідок виснаження м'язового глікогену, що спричиняє підвищений рівень рН та знижує споживчі характеристики продукту. У бройлерів висока кінцева температура тіла може призводити до зниження ніжності м'яса та його здатності утримувати вологу, що негативно впливає на текстуру та кулінарну придатність продукту.

Висновки. Проведений аналіз досліджень показує, що температурний режим є одним із ключових факторів, що впливають на продуктивність сільськогосподарських тварин. Вихід за межі оптимального діапазону призводить до теплового або холодового стресу, що негативно позначається на рості, репродуктивних показниках та якості продукції.

Високі температури спричиняють зниження надоїв молока, уповільнення набору маси свиней та зменшення яйценосності у курей. Низькі температури також впливають на продуктивність, проте їх вплив зазвичай менш критичний, оскільки тварини можуть компенсувати втрати енергії збільшеним споживанням корму.



Список використаних джерел

1. Kim H.-R., Ryu C., Lee S.-D., Cho J.-H., Kang H. Effects of heat stress on the laying performance, egg quality, and physiological response of laying hens. *Animals*. 2024. Vol. 14, № 7. Art. № 1076.
2. Liu J., Li L., Chen X., Lu Y., Wang D. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: A novel idea for monitoring and evaluation of heat stress – A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019. Vol. 32, № 7. Art. № 1332.
3. Sejian V., Maurya V. P., Naqvi S. M. K. Adaptability and growth of Malpura ewes subjected to thermal and nutritional stress under semi-arid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*. 2010. Vol. 42. P. 1763–1770.
4. Kadzere C. T., Murphy M. R., Silanikove N., Maltz E. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science*. 2002. Vol. 77, № 1. P. 59–91.
5. Habeeb A. A., Gad A. E., Atta M. A. Temperature-Humidity Indices as Indicators to Heat Stress of Climatic Conditions with Relation to Production and Reproduction of Farm Animals. *International Journal of Biotechnology and Recent Advances*. 2018. Vol. 1, № 1. P. 35–50.
6. Buoio E., Cialini C., Costa A. Air quality assessment in pig farming: The Italian ClassyFarm. *Animals*. 2023. Vol. 13, № 14. Art. № 2297.
7. Sejian V. Introduction. *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production* / ed. by V. Sejian, S.M.K. Naqvi, T. Ezeji, J. Lakritz, R. Lal. Dordrecht : Springer, 2012. P. 1–13.
8. Thom E. C. The Discomfort Index. *Weatherwise*. 1959. Vol. 12, № 2. P. 57–60.
9. Gaughan J., Lacetera N., Valtorta S.E., Khalifa H.H., Hahn L., Mader T. Response of domestic animals to climate challenges. *Biometeorology for adaptation to climate variability and change* / ed. by K.L. Ebi, I. Burton, G.R. McGregor. Dordrecht : Springer, 2009. P. 131–170.
10. West J. W., Mullinix B. G., Bernard J. K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*. 2003. Vol. 86, № 1. P. 232–242.
11. Bohlouli M., Shodja J., Alijani S., Eghbal A. The relationship between temperature-humidity index and test-day milk yield of Iranian Holstein dairy cattle using random regression model. *Livestock Science*. 2013. Vol. 157, № 2. P. 414–420.
12. Averós X., Brossard L., Dourmad J. Y., de Greef K. H., Edwards S. A., Meunier-Salaün M. C. Meta-analysis on the effects of the physical environment, animal traits, feeder and feed characteristics on the feeding behaviour and performance of growing-finishing pigs. *Animal*. 2012. Vol. 6, № 8. P. 1275–1289.
13. Renaudeau D., Collin A., Yahav S., de Basilio V., Gourdine J. L., Collier R. J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 2012. Vol. 6, № 5. P. 707–728.
14. Lin H., Jiao H. C., Buyse J., Decuypere E. Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2006. Vol. 62, № 1. P. 71–86.
15. Mashaly M. M., Hendricks G. L., Kalama M. A., Gehad A. E., Abbas A. O., Patterson P. H. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. *Poultry Science*. 2004. Vol. 83, № 6. P. 889–894.
16. Fuller A., Mitchell D., Maloney S. K., Hetem R. S. Towards a mechanistic understanding of the responses of large terrestrial mammals to heat and aridity associated with climate change. *Climate Change Responses*. 2016. Vol. 3. Art. № 10.
17. Barbut S., Sosnicki A. A., Lonergan S. M., Knapp T., Ciobanu D. C., Gatcliffe L. J., Huff-Lonergan E., Wilson E. W. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Science*. 2008. Vol. 79, № 1. P. 46–63.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2025 р.



O. Koviazin¹, I. Chyzykov¹, O. Dereza¹, A. Pastushenko²

¹Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

*²Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
«Berezhany Agrotechnical Institute»*

ANALYSIS OF THE IMPACT OF TEMPERATURE ON THE ADAPTATION AND PRODUCTIVITY OF FARM ANIMALS

Summary

This study examines the impact of temperature conditions on the adaptive capacity and productivity of major livestock species. The critical temperature thresholds that determine the comfort levels of animal housing and influence their physiological state are analyzed. The mechanisms of thermoregulation and behavioral responses that help animals adapt to climate changes are also described.

It has been established that elevated ambient temperatures cause significant physiological changes in animals, leading to decreased milk yield in dairy cattle, slower weight gain in pigs, and reduced egg production in poultry. The primary reasons for these changes include increased energy expenditure for thermoregulation, decreased feed intake, and metabolic imbalances.

Although low temperatures have a lesser impact on productivity, they can also create additional stress on the animals, especially when they fall outside their thermoneutral zone. In such conditions, energy expenditures for maintaining thermal balance increase, affecting feed conversion efficiency and overall productivity.

This study primarily focuses on the effects of temperature, as it is the key factor in the processes of heat exchange and thermoregulation in animals. Moreover, temperature regulation is more predictable and controllable, making it possible to assess its impact on productivity and physiological conditions with high accuracy.

The study highlights the need to optimize microclimatic conditions in livestock housing. Controlling temperature regimes, considering critical temperature adaptation thresholds, and implementing scientifically based approaches to animal management can reduce the risks of heat and cold stress, minimize the negative impact of microclimatic factors, and improve productivity.

Keywords: microclimate, thermoregulation, comfortable conditions, critical thresholds, heat stress, physiological reactions, adaptive capacity, production efficiency.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-2

УДК 631.37:631.3.00.65

В. П. Кувачов, д-р техн. наук

В. М. Дружич, інженер

С. О. Шевченко, інженер

К. О. Зеленов, інженер

ORCID: 0000-0002-5762-256X

ORCID: 0009-0007-5361-5921

ORCID: 0009-0007-3371-1262

ORCID: 0009-0001-1235-6341

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: volodymyr.kuvachov@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ КОПАЧА НА ВЕРТИКАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ КОЛІС МАЛОГАБАРИТНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО АГРЕГАТУ

Анотація. Актуальність теми досліджень полягає у вирішенні проблеми погіршення зчеплення рушіїв малогабаритної с.-г. техніки в складі копачів через вертикальний складник реактивної сили опору при вертикальному різанні ґрунту. Мета досліджень – підвищити техніко-експлуатаційні показники роботи малогабаритного механізованого агрегату в складі одноосового енергозасобу та копача шляхом обґрунтування його параметрів. За результатами досліджень уперше обґрунтовано вплив вертикального складника реактивної сили копача на довантаження коліс одноосового енергозасобу та запропоновано методи оптимізації параметрів роботи малогабаритних аграрних агрегатів, які працюють за принципом вертикального різання ґрунту. Отримані результати можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо проєктування та експлуатації малогабаритних механізованих агрегатів у складі копачів, що дасть змогу підвищити їх продуктивність і тягово-зчіпні властивості в польових умовах.

Ключові слова: сталий розвиток сільського господарства, підтримка малих фермерів, технічні інновації в аграрному секторі, агроінженерія.

Постановка проблеми. Малогабаритна сільськогосподарська техніка має перспективи та тенденції до широкого використання в малих і середніх фермерських господарствах завдяки своїй універсальності, компактності та економічності [1].

Одним із перспективних напрямів застосування малогабаритних агрегатів є агрегування одноосового енергетичного засобу із сільськогосподарськими знаряддями реактивного типу, як-от копачі [2; 3]. Переваги використання одноосового енергетичного засобу з реактивним с.-г. знаряддям є такі:

- ефективне використання енергії – реактивний принцип роботи копача (наприклад, вібраційний або гравітаційний принцип) зменшує тяговий опір, що знижує навантаження на мотоблок і покращує його прохідність;
- підвищення продуктивності – завдяки механічним вібраціям або активним робочим органам відбувається ефективніше відокремлення ґрунту від коренеплідів, що зменшує втрати врожаю;
- зменшення буксування – використання реактивного обладнання змінює розподіл навантаження, що сприяє кращому зчепленню коліс одноосового енергозасобу з ґрунтом, особливо на важких та зволжених ґрунтах;
- компактність та мобільність – така система добре підходить для малих господарств, де використовувати великі трактори нерентабельно.

Водночас при роботі копача в складі агрегату з одноосовим енергетичним засобом (типу мотоблок) виникає проблема погіршення зчеплення рушіїв останнього з ґрунтом [2; 3]. Це

пов'язано з дією вертикального складника реактивної сили, що утворюється внаслідок опору ґрунту в процесі роботи копача. Погіршення зчеплення рушіїв одноосьового енергозасобу (мотоблоку) через вертикальний складник реактивної сили копача є актуальною проблемою, що впливає на продуктивність роботи агрегату. Вона може бути частково вирішена конструктивними змінами в навісній системі або коригуванням параметрів роботи копача, що дає змогу покращити стійкість і тягові характеристики одноосьового енергетичного засобу.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що під дією вертикального складника тягового опору задньонавісного знаряддя традиційного машинно-тракторного агрегату має місце перерозподіл ваги трактора по мостах. Зазвичай задній міст трактора при цьому довантажується до 11 % [4], а передній міст розвантажується до 35 % [4].

Також суттєвий вплив на зчіпні властивості трактора здійснює його агрегування з передньонавісними (фронтальними) плугами. У роботах [5–7] зазначається, що при не правильному агрегуванні фронтальних плугів можна отримати не довантаження передніх коліс трактора, а навпаки – їх розвантаження.

Навантаження на колеса малогабаритного механізованого агрегату залежить від багатьох факторів, зокрема від нахилу тяги його жорсткого зв'язку із с.-г. знаряддям [8]. З аналізу роботи [8] випливає, що при збільшенні нахилу тяги жорсткого зв'язку копача вниз навантаження на колеса одноосьового енергозасобу збільшується. Це відбувається тому, що вага с.-г. знаряддя та оброблюваного ґрунту перерозподіляється на колеса малогабаритного механізованого агрегату.

З аналізу наявних досліджень встановлено, що науковцями не враховано величину реакцій тягового зусилля сільськогосподарського знаряддя, що працює за принципом вертикального різання ґрунту, зокрема горизонтальні та вертикальні складники його тягового опору. Також науковцями не розглянуто впливу змін у розподілі ваги малогабаритного механізованого агрегату та опорного колеса знаряддя з вертикальним різанням ґрунту (копача), які виникають унаслідок їх довантаження чи розвантаження під час взаємодії робочих органів з ґрунтом. Відсутність чітких закономірностей щодо впливу нахилу тяги з'єднання одноосьового енергозасобу з копачем на зміну їх вертикальних реакцій при контакті з агрофоном обмежує можливість формулювання загальної моделі для точного прогнозування та оптимізації параметрів роботи малогабаритних агрегатів зі знаряддями, які працюють за принципом вертикального різання ґрунту.

Мета досліджень – підвищити техніко-експлуатаційні показники роботи малогабаритного механізованого агрегату в складі одноосьового енергозасобу та копача шляхом обґрунтування його параметрів.

Основна частина. Положимо, що навісне обладнання одноосьового енергозасобу малогабаритного механізованого агрегату представлено одинарною тягою (жорстке зчеплення). Такий спосіб агрегування малогабаритних агрегатів типу мотоблок зазвичай є основним. По суті, це одинарна штанга або регульована тяга, яка передає тягове зусилля на агрегат.

У такому разі на досліджуваний малогабаритний механізований агрегат у складі копача в поздовжньо вертикальній площині збоку одноосьового енергетичного засобу й ґрунтового середовища діють такі сили (рис. 1):

- сила ваги копача (G), кН;
- сила тягового опору копача R (кН), яка направлена під кутом α до вертикалі, що відповідає куту вертикального занурення лопаток копача в ґрунт;
- сила дії одноосьового енергетичного засобу на копач через тягу (P), кН;
- вертикальна реакція N_k (кН) опорного колеса копача;
- опір кочення колеса копача $F_k = N_k f$ (кН), де f – коефіцієнт опору кочення опорного колеса копача з ґрунтом.

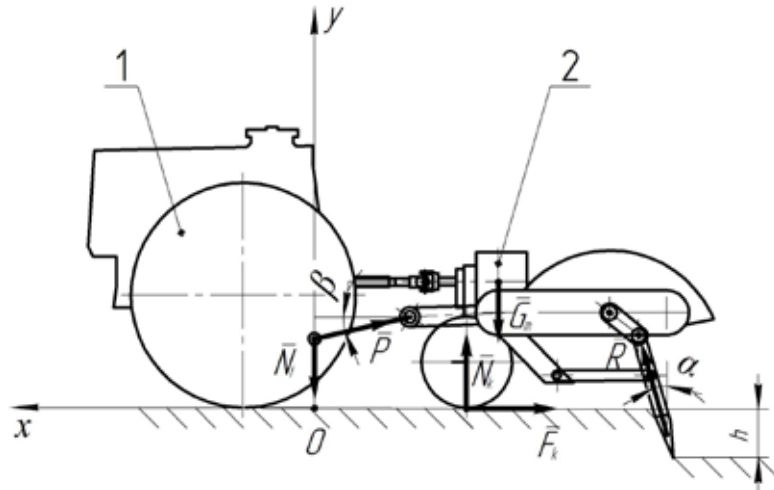


Рис. 1. Схема сил, які діють на малогабаритний механізований агрегат у складі копача в поздовжньо-вертикальній площині: 1 – одноосьовий енергетичний засіб; 2 – копач

Зі згаданих сил невідомими є дві: P та N_k . Для їх визначення в процесі досліджень приймемо такі припущення: батарею лопаток копача доцільно представити у вигляді однієї еквівалентної лопатки; через гнучкість карданного з'єднання активних робочих органів копача з одноосьовим енергозасобом силою дії останнього на с.-г. знаряддя через карданний вал знехтуємо.

Для визначення невідомих сил P та N_k складемо систему двох рівнянь у вигляді суми проєкцій сил на осі OX і OY (рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} R \sin \alpha - P \cos \beta - N_k f &= 0; \\ R \cos \alpha + P \sin \beta + N_k - G &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де α – кут нахилу реакції тягового опору лопатки копача до вертикалі, град;

β – кут нахилу тяги причіпного механізму одноосьового енергозасобу до горизонту, град.

Із системи рівнянь (1) можна знайти невідомими дві сили P та N_k :

$$P = \frac{(G - R \cos \alpha) f - R \sin \alpha}{f \sin \beta - \cos \beta}, \quad (2)$$

$$N_k = G - R \cos \alpha - P \sin \beta.$$

У процесі функціонування агрегату вплив одноосьового енергозасобу на копач репрезентує сила P . Зворотну реакцію копача на одноосьовий енергозасіб відтворює сила, яка рівна за модулем указаної, але протилежна за напрямом. Вертикальний складник цієї реакції становить сила N_t (див. рис. 1), яка й репрезентує бажане довантаження коліс одноосьового енергозасобу:

$$N_t = P \sin \beta \rightarrow \max. \quad (4)$$

Із вищевикладеного випливає, що вибір параметрів малогабаритного механізованого агрегату в складі копача, які входять до рівнянь (1–3), має здійснюватися в напрямі виконання вимоги (4).

У дослідженні прийнято такі параметри та рівні їх варіювання: $\alpha = 7$ град; $f = 0,1$; $\beta = 0 \dots 30$ град; $G = 1600 \dots 2800$ Н; $R = 500 \dots 1100$ Н.

Теоретичними дослідженнями встановлено, що збільшення кута β нахилу тяги причіпного механізму одноосьового енергозасобу призводить до зростання сили N_t , яка забезпечує додаткове навантаження на його колеса (рис. 2). Характер наведеної залежності є практично ліній-

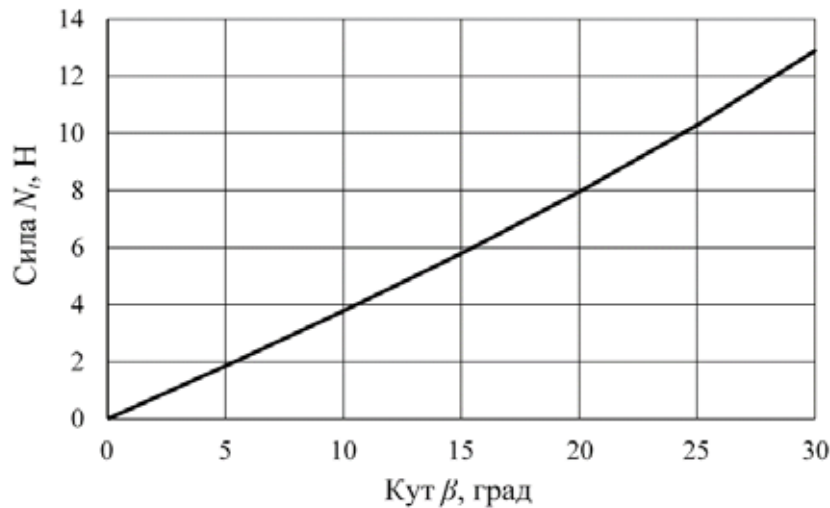


Рис. 2. Залежність сили N_i від кута β нахилу тяги причіпного механізму одноосьового енергозасобу

ним, а абсолютне зростання сили N_i становить 14 Н при збільшенні кута β до 30 град. На перший погляд, це незначна величина додаткового довантаження коліс одноосьового енергозасобу порівняно з його вагою. Однак варто враховувати можливість взагалі розвантаження його коліс унаслідок дії вертикальної реакції від тягового опору знаряддя типу копач, що працюють за принципом вертикального різання ґрунту. Тому вважаємо такий результат загалом приємним з погляду забезпечення достатнього зчеплення приводних коліс малогабаритного механізованого агрегату з ґрунтом.

Суттєвий вплив на величину довантаження коліс одноосьового енергозасобу здійснюють вага G копача та сила його тягового опору R . Проте характер залежностей від зазначених сил є інваріантним (рис. 3 і 4). Зі збільшенням ваги G копача вертикальна сила реакції N_i закономірно зменшується (рис. 3), оскільки менша частка загальної маси бере участь у перерозподілі ваги на опорних колесах агрегату. Водночас є критичне значення ваги G копача, перевищення якого спричиняє не довантаження, а розвантаження коліс енергозасобу. У межах дослідження встановлено, що при вазі копача 2200 Н і більше спостерігається ефект розвантаження. Це пояснюється тим, що зі збільшенням ваги копача та фіксованого значення його тягового опору відбувається такий перерозподіл маси малогабаритного механізованого агрегату, за якого більша її частина припадає на опорні колеса копача. При цьому вертикальний складник реакції тягового опору копача є відносно малим порівняно з його масою, що робить її недостатньою для забезпечення ефекту довантаження коліс одноосьового енергозасобу.

Інша картина спостерігається при збільшенні тягового опору R копача (рис. 4). У межах дослідження за малих значень тягового опору (500–900 Н) відбувається не довантаження, а навпаки – розвантаження коліс одноосьового енергозасобу. Однак зі збільшенням сили R понад 900 Н величина сили N_i пропорційно зростає (рис. 4). Це пояснюється тим, що значний тяговий опір, який виникає під час вертикального різання ґрунту, сприяє перерозподілу частини ваги копача на опорні колеса малогабаритного механізованого агрегату. Але, як зазначалося раніше, на цей процес також впливає вага G копача.

Водночас для отримання більшої величини тягового опору малогабаритного механізованого агрегату необхідно прямо пропорційно збільшувати вагу копача. Ураховуючи це, аналіз

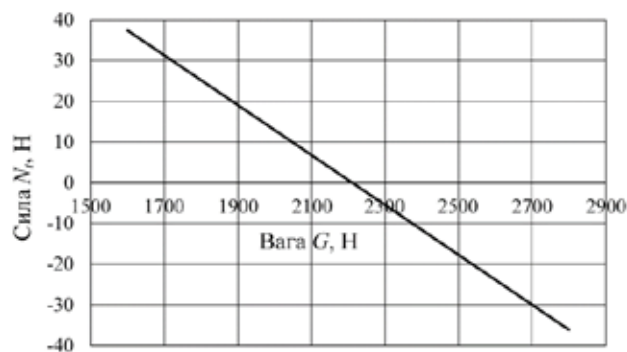
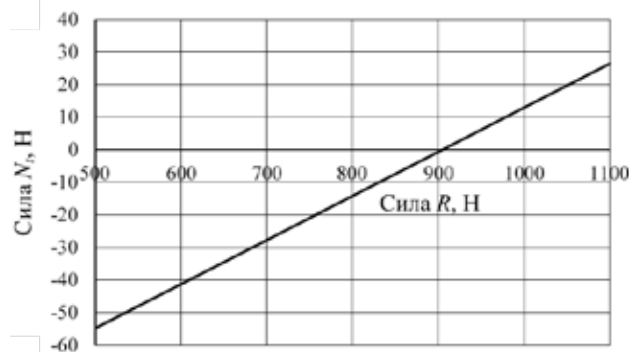

Рис. 3. Залежність сили N , від ваги G копача

Рис. 4. Залежність сили N , від сили R тягового опору копача

рис. 3 та 4 свідчить, що за одночасної зміни цих параметрів загальний рівень довантаження коліс одноосового енергозасобу залишається майже незмінним і порівняно невеликим.

Так, більш ефективним способом впливу на ступінь довантаження коліс малогабаритного механізованого агрегату є зміна кута нахилу тяги причіпного механізму одноосового енергозасобу.

Висновки. Проведеними дослідженнями встановлено, що збільшення кута нахилу тяги причіпного механізму малогабаритного механізованого агрегату сприяє довантаженню коліс одноосового енергозасобу. При величині кута на рівні 30 град. додаткове навантаження на колеса одноосового енергозасобу зростає до 14 Н, що може мати вагоме значення для забезпечення стабільності руху малогабаритного механізованого агрегату.

Вага копача є важливим фактором, що визначає характер перерозподілу навантаження на колеса малогабаритного механізованого агрегату. При збільшенні ваги понад 2200 Н спостерігається розвантаження коліс одноосового енергозасобу, що може негативно впливати на його тягові характеристики.

При малому тяговому опорі копача до 900 Н відбувається розвантаження коліс одноосового енергозасобу, тоді як подальше зростання опору агрегату призводить до їх довантаження через перерозподіл ваги копача, що залежить також від його маси.

Отримані результати можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо проектування та експлуатації малогабаритних механізованих агрегатів у складі копачів, що дасть змогу підвищити їх продуктивність і тягово-зчіпні властивості в польових умовах.

Список використаних джерел

1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В., Гриник І. В. Малогабаритні сільськогосподарські машини. Конструкція, теорія і розрахунок : монографія. Київ : Аграрна наука, 2017. 292 с.
2. Кувачов В. П., Дружич В. М., Шевченко С. О., Зеленов К. О. Дослідження стійкості руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2024. 14(2). 15 с. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-3>
3. Кувачов В. П., Дружич В. М., Шевченко С. О., Зеленов К. О. Теоретичні основи руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу в системі точного землеробства. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2024. 14(1). 12 с. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-4>.
4. Надикто В. Т., Кістечок О. Д. Дослідження стійкості руху орного агрегату у горизонтальній площині. *Науковий вісник НУБІП*. 2016. № 254. С. 268–274. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_254_28.
5. Bulgakov V., Ivanovs S., Nadykto V., Petrov G. Investigation of front plough functioning stability conditions without support wheel. *Engineering for Rural Development*. 2023. 22. P. 562–570. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF116>.



6. Nadykto V., Golub G., Kyurchev V., Tsyvenkova N. Determining vertical oscillations of front-plow tractor without support wheel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 1(7). P. 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296842>.
7. Bulgakov V., Ivanovs S., Kaletnik H., Kuvachov V. Investigation of running depth stability in soil of frontally installed plough of ploughing aggregate assembled according to “push-pull” scheme. *Proceedings Engineering for rural development: 17 International Scientific Conference*. 2018. №17. P. 292–300. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N314>.
8. Овсянніков С. І. Мотоагрегати: шляхи підвищення тягово-зчіпних властивостей. *Вісник ХНТУСГ*. 2017. № 184. С. 78–80. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/16329/1/184_17_TS_16.pdf

Стаття надійшла до редакції 21.02.2025 р.

V. Kuvachov¹, V. Druzhyh¹, S. Shevchenko¹, K. Zelenov¹

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

RESEARCH ON THE IMPACT OF DIGGER PARAMETERS ON THE VERTICAL LOAD OF SMALL-SCALE MECHANIZED UNIT WHEELS

Summary

The relevance of the research lies in addressing the issue of deteriorating traction of small-scale agricultural machinery within digger systems due to the vertical component of the reactive resistance force during vertical soil cutting. The aim of the study is to improve the technical and operational performance of a small-scale mechanized unit consisting of a single-axle power tool and a digger by justifying its parameters. Based on the research findings, the influence of the vertical component of the digger's reactive force on the additional load of the single-axle power tool wheels was substantiated for the first time, and methods for optimizing the parameters of small agricultural units operating on the principle of vertical soil cutting were proposed. The obtained results can be used to develop recommendations for designing and operating small-scale mechanized units within digger systems, which will enhance their productivity and traction properties in field conditions.

Keywords: sustainable agricultural development, support for small farmers, technical innovations in the agricultural sector, agroengineering.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-3

УДК 66.047.3.085.1; 66.047-912

В. М. Марчевський, канд. техн. наук, професор

ORCID: 0000-0001-6530-0467

О. А. Новохат, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-1198-6675

В. В. Філіпов, аспірант

ORCID: 0009-0000-5098-5539

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

e-mail: novokhatoleh@gmail.com

КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СУШІННЯ БІШОФІТУ ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Анотація. Процес сушіння бішофіту є важливим етапом його виробництва, проте потребує значних енерговитрат. У статті описано кінетику процесу сушіння бішофіту інфрачервоним випромінюванням за низькотемпературного режиму до 90 °С. Наведено переваги цього методу та можливі труднощі його застосування. Представлено кінетичні закономірності сушіння бішофіту інфрачервоним випромінюванням у межах густини теплового потоку 0,9–1,45 кВт/м². Описано експериментальну установку. Результати досліджень виконані у вигляді графічних залежностей вологовмісту бішофіту, часу та швидкості сушіння. Запропоновано рівняння, за яким у межах указанного діапазону густини теплового потоку можна визначити константу сушіння бішофіту. Це дасть змогу попередньо визначити інтенсивність сушіння бішофіту інфрачервоним випромінюванням обраним інфрачервоним випромінювачем.

Ключові слова: бішофіт, мінерал, інфрачервоне сушіння, радіаційне сушіння, випромінювання, кінетика, дегідратація, вологовміст.

Постановка проблеми. Сушіння природного мінералу бішофіту є важливим технологічним процесом, що зменшує в ньому значну кількість вологи. Її надмірна кількість може впливати на фізико-хімічні властивості бішофіту, можливість транспортування, зберігання та подальшу ефективність у застосуванні. Так, зокрема, видалення надлишку вологи зменшує вірогідність злежування та комкування цього мінералу. А отримання сухого магнієвмісного концентрату розширює сфери застосування.

Найбільш поширеним способом зневоднення бішофіту є сушіння за допомогою газоподібного теплоносія, насамперед у сушарках з киплячим шаром, шахтних, барабаних та конвеєрних сушарках. Одним з недоліків таких способів сушіння є значні енерговитрати на нагрівання сушильного агента, можливий перегрів поверхні кристалічного мінералу під час сушіння. Останнє може погіршити фізико-хімічні властивості бішофіту та зменшити його вихід через втрату кристалізаційної води.

Одним з перспективних способів зневоднення бішофіту є інфрачервоне сушіння, що є різновидом радіаційного. Адже використання інфрачервоного випромінювання має низку переваг. Зокрема, воно має здатність проникати вглиб матеріалу, не нагріваючи повітря над ним (за винятком дисперсійної вологи в повітрі). Також сучасні інфрачервоні панелі мають гнучку та низьку інерційність керування потоку теплоти, генерованих ними.

Проте практичне застосування інфрачервоного випромінювання для сушіння бішофіту вимагає знання основних кінетичних закономірностей цього процесу. На основі них можна дібрати необхідні технологічні параметри сушіння та визначити доцільність цього способу загалом.

Аналіз останніх досліджень. Загальновідомим є те, що для сушіння бішофіту зазвичай використовують конвективний тип сушіння. Проте авторами показано, що сушіння інфрачер-

воним випромінюванням має низку переваг як для капілярно-пористих тіл [1], зокрема їжі [2–5], так і для матеріалу кристалічної структури [6–8].

За високотемпературного впливу на бішофіт під час сушіння можливе явище його дегідратації – видалення кристалізаційної вологи з молекул хлориду магнію [9–11]. У деяких випадках принаймні часткова дегідратація є допустима й цілеспрямована під час сушіння [12]. Науковцями досліджується структура бішофіту за різного ступеня дегідратації [13].

Авторами проведено досліди із сушіння бішофіту для визначення поліноміального рівняння, що описує криві сушіння [14]. Проте отримані рівняння шостого порядку мають низку точність у разі змінення хоча б одного параметра сушіння.

Отже, у літературі недостатньо досліджено процес сушіння бішофіту за низькотемпературного режиму без дегідратації кристалізаційної води. Також майже відсутні дані щодо застосування інфрачервоного випромінювання для сушіння бішофіту.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Для визначення доцільності сушіння бішофіту інфрачервоним випромінюванням та надання практичних рекомендацій необхідно встановити кінетичні закономірності цього способу сушіння. Це вимагає встановлення закономірностей впливу різних факторів на протікання процесу сушіння, зокрема густини теплового потоку та початкової вологості. Тому в статті за мету ставиться визначити кінетичні закономірності процесу інфрачервоного сушіння кристалічного бішофіту.

Основна частина. Для визначення кінетичних закономірностей сушіння бішофіту інфрачервоним випромінюванням створено експериментальну установку, представлену на рис. 1.

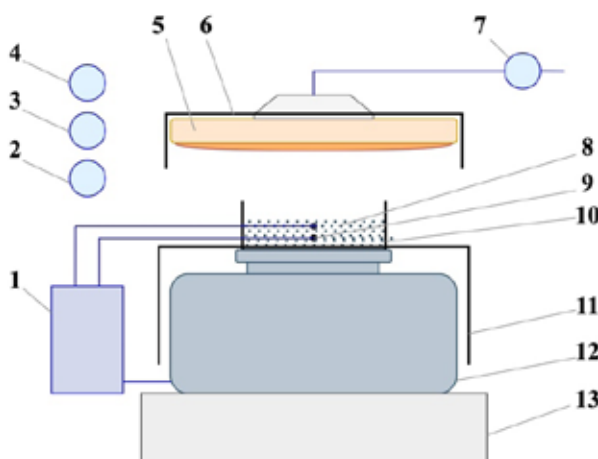


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – персональний комп’ютер; 2 – термометр; 3 – барометр; 4 – гігрометр; 5 – інфрачервоний випромінювач; 6 – рефлектор; 7 – ватметр; 8 – бішофіт; 9 – температурний датчик; 10 – ємність; 11 – захисний екран; 12 – електронні ваги; 13 – вібростійка поверхня

Експериментальна установка складається з електронних ваг, які в режимі реального часу вимірюють поточні значення маси. Для мінімізації впливу зовнішніх коливань на вимірювання ваги розташовані на вібростійкій поверхні.

На робочі площадці електронних ваг розміщується ємність, усередині якої засипається досліджуваний матеріал – кристалічний бішофіт. На поверхні та всередині шару бішофіту розміщуються температурні датчики (термопари).

Значення температури бішофіту від термопар і його поточної маси від електронних ваг передаються та фіксуються на персональному комп’ютері.

Поблизу установки встановлено термометр, барометр і гігрометр для вимірювання показників навколишнього середовища, а саме температури, тиску та вологості відповідно.

Над досліджуваним матеріалом розташовано інфрачервоний випромінювач, що спрямовано до нього робочою поверхнею. Зміну теплового потоку від випромінювача до бішофіту здійснюється зміною поданої на випромінювач напруги. При цьому його електрична потужність вимірюється ватметром.

Для зменшення теплових втрат у навколишнє середовище над випромінювачем міститься рефлектор.

Відстань між робочою поверхнею інфрачервоного випромінювача та поверхнею бішофіту визначається за допомогою штангенциркуля.

Як дослідний матеріал використано кристалічний природний мінерал бішофіт, що складається з хлориду магнію та кристалізаційної води $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [15]. Відповідно, крім води у вигляді плівки на поверхні кристалів, вода також міститься в складі молекул.

Відомо, що з підвищенням температури сушіння з бішофіту може видалятися кристалізаційна вода. Це притаманне й іншим кристалогідратам [16]. Зазвичай за температури до 50°C видаляється лише поверхнева вільна волога. За температури до $90\text{--}100^\circ\text{C}$ бішофіт може втратити до 2 молекул води, за температури 130°C – до чотирьох, якщо температура вища $160\text{--}190^\circ\text{C}$ – втрачається вся кристалізаційна вода з утворенням чистого хлориду магнію.

Під час експериментальних досліджень метою було збереження структури бішофіту. Тому температура сушіння не перевищувала 90°C .

Досліди проводили за густини теплового потоку на поверхні бішофіту рівним $0,9\text{ кВт/м}^2$, $1,2\text{ кВт/м}^2$ та $1,45\text{ кВт/м}^2$.

Перед експериментами бішофіт витримувався в ексикаторі, у результаті чого його вологість була рівномірною і становила близько 13 %. З побудованої за дослідними даними графічної залежності (рис. 2) вихід бішофіту після сушіння становить близько 87 %. Отже, у результаті зневоднення видалено приблизно 13 % вологи, що узгоджується з вихідними даними.

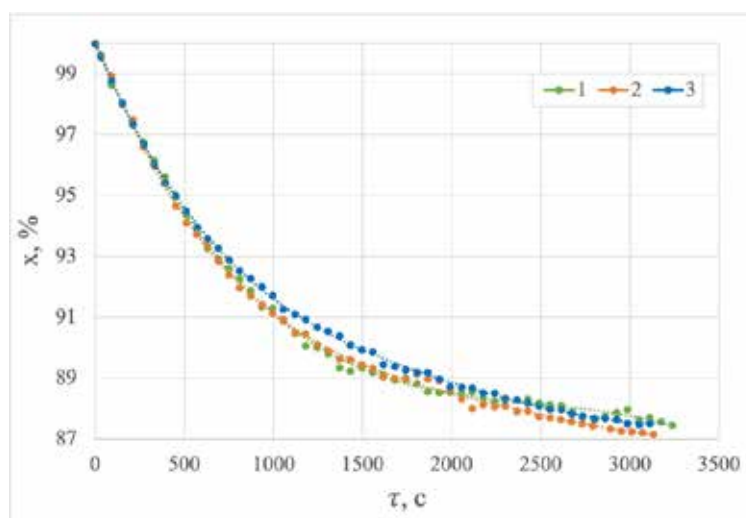
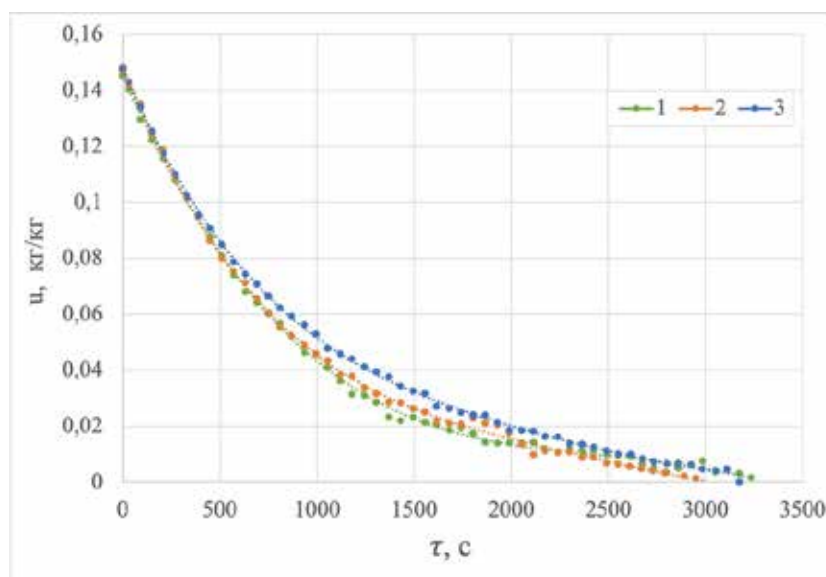


Рис. 2. Графічна залежність виходу бішофіту від часу сушіння

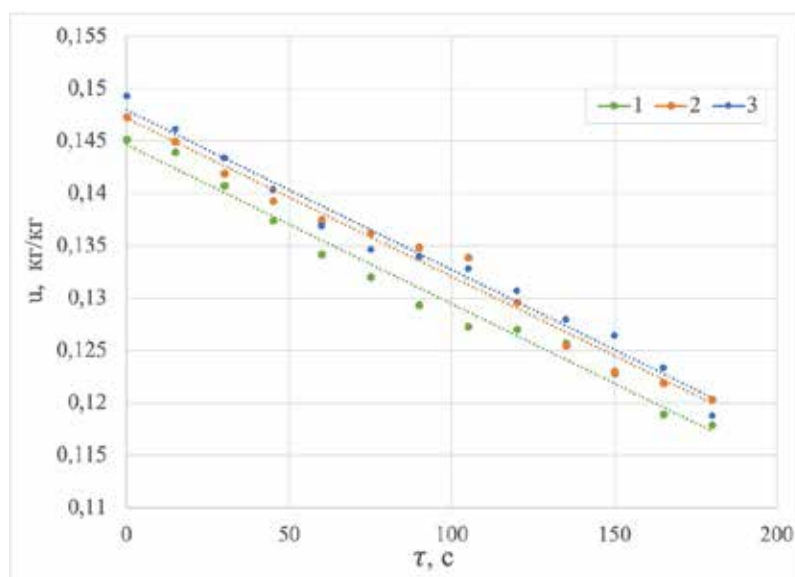
За отриманими експериментальними даними побудовано криві сушіння – залежності вологовмісту бішофіту від часу сушіння (рис. 3).

З рисунку видно, що на кривих сушіння бішофіту відсутній період прогріву, коли зростає швидкість сушіння. Це пов'язано з відносно великим значенням густин теплового потоку,

**Рис. 3. Криві сушіння бішофіту**

а також здатністю інфрачервоного випромінювання проникати вглиб вологи, що значно пришвидшує її нагрівання та перехід до активного випаровування.

За збільшення кривих сушіння на початку цього процесу (рис. 4) можна спостерігати тенденцію прямолінійного зменшення вологовмісту, так званий період постійної швидкості. Але як видно на рис. 3, його тривалість порівняно із загальним часом сушіння незначна й далі процес зневоднення відбувається зі спадною швидкістю.

**Рис. 4. Криві сушіння на початку процесу**

Отже, можна констатувати, що за робочої температури сушіння в межах 70–90 °С відбувається видалення поверхневої вологи. При цьому період прогріву зі зростанням швидкості сушіння не спостерігається на графіках через украй малу його тривалість. Період постійної швидкості присутній, проте він швидко закінчується в межах загальної тривалості сушіння. А більшість часу відбувається сушіння бішофіту за спадної швидкості.

Для підтвердження припущень щодо зміни швидкості сушіння бішофіту побудовано графічні залежності швидкості від часу за густини теплових потоків $0,9 \text{ кВт/м}^2$, $1,2 \text{ кВт/м}^2$ та $1,45 \text{ кВт/м}^2$ відповідно (рис. 5–7).

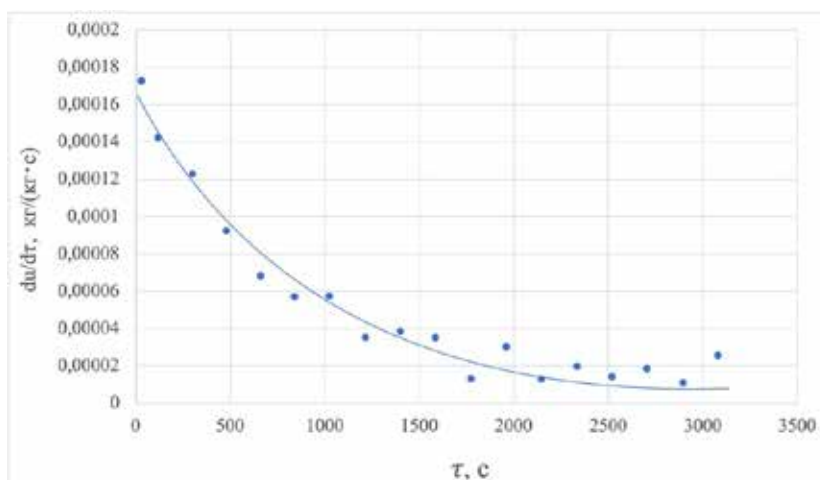


Рис. 5. Зміна швидкості сушіння бішофіту в часі ($0,9 \text{ кВт/м}^2$)

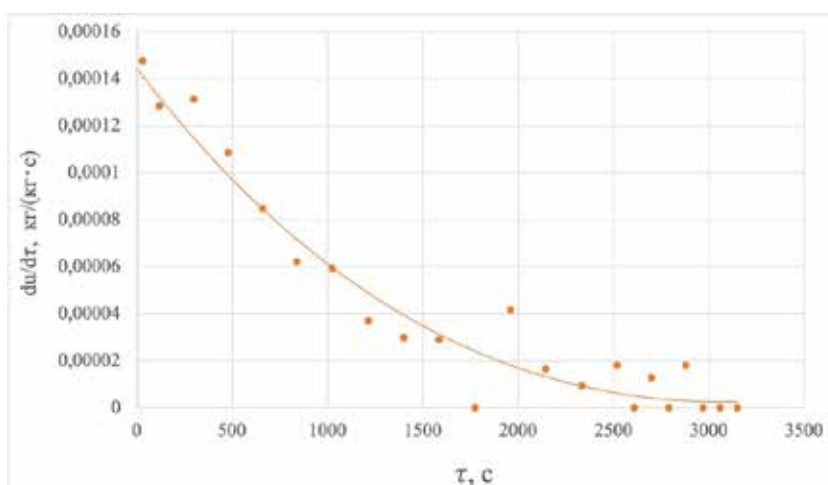


Рис. 6. Зміна швидкості сушіння бішофіту в часі ($1,2 \text{ кВт/м}^2$)

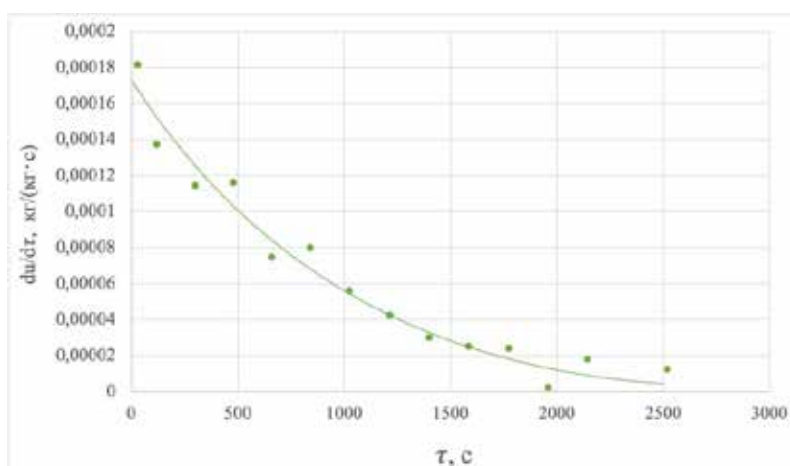


Рис. 7. Зміна швидкості сушіння бішофіту в часі ($1,45 \text{ кВт/м}^2$)

Як видно з рисунків 5–7, швидкість сушіння лише на початку процесу постійна (або мінімально спадна), а далі інтенсивність спадання швидкості сушіння зростає.

Проте в координатах швидкості сушіння бішофіту від його поточного вологовмісту можна спостерігати лінійну залежність з достатнім рівнем збіжності (рис. 8–10).

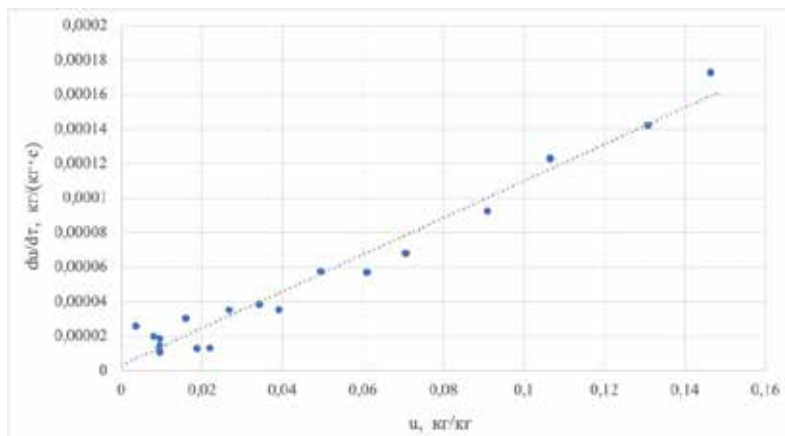


Рис. 8. Залежність швидкості сушіння та вологовмісту (0,9 кВт/м²)

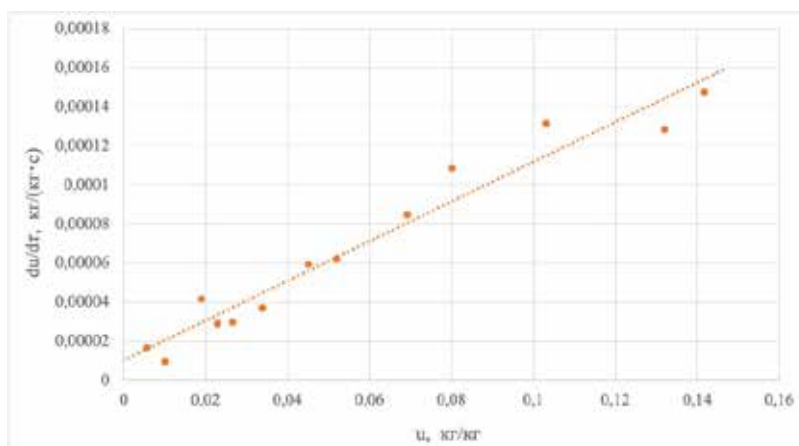


Рис. 9. Залежність швидкості сушіння та вологовмісту (1,2 кВт/м²)

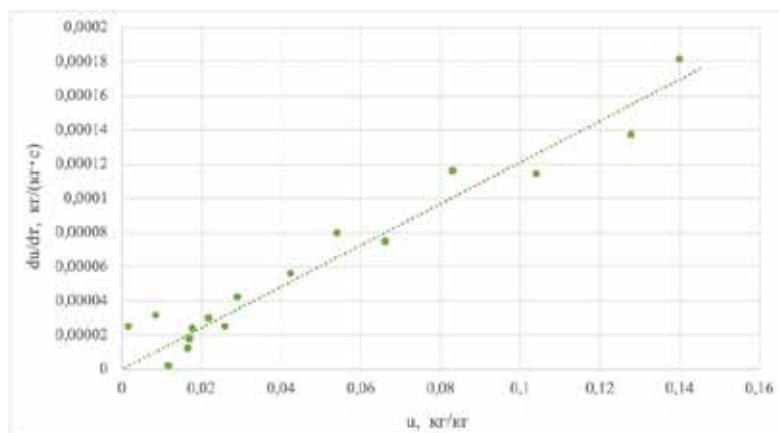


Рис. 10. Залежність швидкості сушіння та вологовмісту (1,45 кВт/м²)

Наведені апроксимуючі лінії є рівнянням типу:

$$du/d\tau = ku, \quad (1)$$

де u – вологовміст бішофіту, кг/(кг·с) або с⁻¹;

τ – поточний час сушіння бішофіту, с;

k – константа швидкості сушіння бішофіту, с⁻¹.

Густина теплового потоку q , кВт/м ²	0,9	1,2	1,45
Константа швидкості сушіння k , с ⁻¹	0,001	0,0011	0,00123
Рівень достовірності R	0,9634	0,9519	0,9633

Графічну кореляція даних згідно з таблицею показано на рис. 1 (достовірність $R^2=0,9838$).

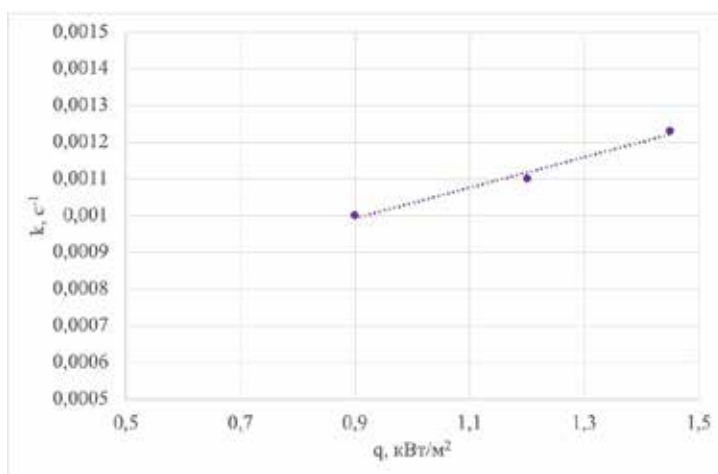


Рис. 11. Кореляція константи швидкості сушіння

Рівняння апроксимуючої прямої згідно з рис. 11 має такий вигляд:

$$k = 0,004q + 0,006 \quad (2)$$

Це рівняння може бути використано для наближеного визначення константи швидкості сушіння бішофіту в діапазоні густин теплового потоку 0,9–1,45 кВт/м². Екстраполяція цього рівняння має обмежене використання, на що вказує наявність вільного члена 0,006. Адже за відсутності теплового потоку константа швидкості сушіння не може мати позитивне значення.

Висновки. Згідно з отриманими експериментальними даними встановлено, що інфрачервоне сушіння кристалічного бішофіту має перспективи щодо його застосування в промислових сушарках. Отримані кінетичні закономірності спростять визначення необхідних технологічних параметрів сушильного обладнання. Проте для забезпечення рівномірності зневоднення матеріалу та інтенсифікації сушіння бажано поєднати цей спосіб сушіння з іншим типом – конвективним, зокрема сушіння в киплячому або фонтувальному шарі. Також використання інфрачервоного випромінювання можливе як доповнення для швидкого нагрівання вологого матеріалу або більш гнучкого керування величини теплового потоку.

Отримане рівняння описує залежність константи швидкості реакції від густини теплового потоку. Його можна використати для попереднього встановлення необхідних параметрів сушіння бішофіту інфрачервоним випромінюванням та доцільності застосування цього способу загалом.

Список використаних джерел

1. Karvatskii A., Marchevsky V., Novokhat O. Numerical modeling of physical fields in the process of drying of paper for corrugating by the infrared radiation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 2(5 (86), P. 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96741>
2. Huang D., Yang P., Tang X., Luo L., Sunden B. Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 110, P. 765–777. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.039>
3. Da-Long Jiang, Shivanand S. Shirkole, Hao-Yu Ju, Hao-Yu Ju et al. An improved infrared combined hot air dryer design and effective drying strategy analysis for sweet potato. *LWT*. 2025. Vol. 215. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117204>
4. Kocabiyik H. Drying of carrot slices using infrared radiation [Text] H. Kocabiyik, D. Tezer International Journal of Food Science & Technology. 2009. Vol. 44, Issue 5. P. 953–959. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01767.x>
5. Ai Z., Ren H., Lin Y., Sun W., Yang Z., Zhang Y., Zhang H., Yang Z., Pandiselvam R., Liu Y. Improving drying efficiency and product quality of stevia rebaudiana leaves using innovative medium-and short-wave infrared drying (mswid). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2022. Vol. 81. <https://doi.org/103154.0.1016/j.ifset.2022.103154>
6. Kushniruk V., Novokhat O. Analysis of intensification of zeolite drying on a vibrating conveyor dryer with infrared emitters. *Technology Audit and Production Reserves*. 2023. 2 (1 (70)), P. 6–9. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.279032>
7. Novokhat O. A., Vozniuk V. T., Hritsiuk H. I., Lysii V. Determination of kinetic regularities of the process of drying perlite by radiation method. *Journal of Engineering Sciences*. 2021. Vol. 8(1), P. C11–C17, [https://doi.org/10.21272/jes.2021.8\(1\).c2](https://doi.org/10.21272/jes.2021.8(1).c2)
8. Marchevsky V., Novokhat O., & Margarian A. Analysis of the research results of the zeolite drying process. *Technology Audit and Production Reserves*. 2018. 1(3(45), P. 21–23. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.163361>
9. K. Sugimoto R. E. Dinnebier J. C. Hanson. Structures of three dehydration products of bischofite from in situ synchrotron powder diffraction data ($\text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; $n = 1, 2, 4$). *Acta Crystallographica Section B: Structural Science, Crystal Engineering and Materials*. 2007. B63, P. 235–242. <https://doi.org/10.1107/S0108768107002558>
10. Ping Li, Bingxin Liu, Xing Lai, Weihua Liu, Li Gao, Zhongfeng Tang. Thermal decomposition mechanism and pyrolysis products of waste bischofite calcined at high temperature. *Thermochimica Acta*. 2022. Vol. 710. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2022.179164>
11. Jiaying Xu, Tingxian Li, Taisen Yan, Jingwei Chao, Ruzhu Wang. Dehydration kinetics and thermodynamics of magnesium chloride hexahydrate for thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2021. Vol. 219. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110819>
12. Xuyong Liu, Xiangmei Cui. Research Progress in Dehydration Technology of Bischofite for Preparing Anhydrous Magnesium Chloride. *Proceedings of the 2016 5th International Conference on Civil, Architectural and Hydraulic Engineering (ICCAHE)*. 2016. Zhuhai, China. P. 261–267. <https://doi.org/10.2991/iccahe-16.2016.45>
13. Wu Yu-Long, Huang Xiao-Fang, Yang Ming-De, Zou Shu-Ping, Dang Jie, Hu Hu-Sheng. Study on the mechanisms and kinetics of complex's thermal decomposition getting anhydrous magnesium chloride. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2008. Vol. 81. 133–135. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2007.05.004>
14. Галстян А. С., Марчевський В. М., Улітько Р. М. Кінетика сушіння кристалічного бішофіту. *Збірник наукових праць Одеської національної академії харчових технологій*. 2010. С. 113–116.
15. Holleman, A.F., Wiberg, E. Inorganic Chemistry. *Academic Press*. San Diego, 2001. ISBN 0-12-352651-5.
16. Jianxin Zhang, Arshe Said, Bing Han, Marjatta Louhi-Kultanen. Semi-batch evaporative crystallization and drying of cobalt sulphate hydrates. *Hydrometallurgy*. 2022. Vol. 208. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2022.105821>

Стаття надійшла до редакції 23.02.2025 р.

**V. Marchevskyi, O. Novokhat, V. Filipov***National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"***KINETIC REGULARITIES OF BISCHOFITE DRYING BY INFRARED RADIATION*****Summary***

The drying process of bischofite is a crucial stage in its production but requires significant energy consumption. This study examines the kinetics of bischofite drying using infrared radiation under a low-temperature regime of up to 90 °C. The advantages and potential challenges of this method are discussed. The kinetic regularities of bischofite drying by infrared radiation are presented within a heat flux density range of 0,9–1,45 kW/m². The experimental setup is described in detail. The research results are provided in the form of graphical dependencies of bischofite moisture content, drying time, and drying rate. A mathematical equation is proposed to determine the drying constant within the specified heat flux density range. This approach allows for a preliminary assessment of the drying intensity of bischofite using an infrared emitter of choice.

Keywords: Bischofite, mineral, infrared drying, radiation drying, radiation, kinetics, dehydration, moisture content.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-4

УДК 631.312

В. Т. Надикто, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-1770-8297

Г. А. Петров, аспірант

ORCID: 0000-0002-1726-2731

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНOSTІ РУХУ ОРНОГО МТА З ФРОНТАЛЬНИМ ПЛУГОМ БЕЗ ОПОРНОГО КОЛЕСА

Анотація. Сучасне аграрне виробництво характеризується використанням орних агрегатів за схемою push-pull. Її особливістю є використання фронтального плуга. Зазвичай таке орне знаряддя використовують з опорним колесом. Дослідження розглядає процес аналізу стійкості руху орного агрегату з фронтальним плугом з опорним колесом (варіант 1) порівняно з варіантом без нього (варіант 2). Дослідженнями установлено при застосуванні агрегату за варіантом 2 спектр коливань кута повороту керованих коліс трактора є бажано вужчим за спектр коливань цього ж параметра для агрегату з фронтальним плугом, обладнаним опорним колесом. Спектр коливань курсового кута трактора вужчий, ніж спектр коливань кута повороту його керованих коліс. В орного агрегату за варіантом 2, як у динамічній системі, має місце позитивний кореляційний зв'язок між входом (керувальним впливом) і виходом. Максимальне значення цього зв'язку сягає позначки 0,9. А це у 1,8 раза більше порівняно з орним агрегатом за варіантом 1. Практично це означає, що застосування фронтального плуга без опорного колеса забезпечує більш тісний кореляційний зв'язок між кутом повороту керованих коліс трактора і його курсовим кутом. У практичному сенсі це вказує на задовільну керованість руху орного МТА за новою схемою.

Ключові слова: трактор, керовані колеса, курсовий кут, спектральна щільність, взаємна кореляційна функція

Постановка проблеми. Оранка була й залишається найбільш енергоємною технологічною операцією, оскільки на її здійснення, як засвідчують результати досліджень [1], витрачається щонайменше 40 % енергії. Зазвичай оранка проводиться традиційними задньонавісними (інколи причіпними) плугами. Водночас останнім часом дедалі більшою популярністю користуються орні машинно-тракторні агрегати (далі – МТА) за схемою push-pull, тобто «штовхай-тягни» [2]. Їх конструктивною особливістю є наявність у складі МТА фронтального (передньонавісного) плуга.

Останній, як правило, у своєму складі має опорне колесо, призначене для регулювання глибини обробки ґрунту цим орним знаряддям. Проте дослідження показують [3], що ефективність використання фронтального плуга можна підвищити шляхом видалення з його конструкції опорного колеса. Водночас проблемним залишається питання керованості плоскопаралельного горизонтального руху такого орного МТА.

Аналіз останніх досліджень. Динаміка горизонтального руху орного агрегату за схемою push-pull суттєво залежить від вертикального навантаження, яке припадає на передній міст трактора з керованими колесами. Природу цього процесу частково досліджено в роботах [4; 5]. Стійкість і керованість руху МТА в горизонтальній площині при цьому не розглядаються.

Попри стандартизацію за кордоном параметрів переднього навісного механізму (далі – ПНМ) трактора при роботі з фронтальним плугом [6], дослідники Singh N. і Pandey K. [7] аналізували технологічну природу функціонування такого орного знаряддя без опорного колеса. Проте їх метою було розроблення лише комп'ютерної програми, яка б дала змогу здійснювати розрахунок сил, що діють у центральній та нижніх тягах ПНМ трактора. Водночас автори

взагалі не розглядають механізм обмеження занурення фронтального плуга в ґрунт у процесі його функціонування. Ба більше, дослідники зовсім не аналізують керованість руху розглянутого ними орного агрегату з фронтальним плугом без опорного колеса. Результати досліджень у цьому напрямі майже відсутні в літературних джерелах.

Мета статті – репрезентувати результати досліджень керованості горизонтального руху орного МТА з фронтальним плугом без опорного колеса.

Основна частина. Під керованістю прийнято розглядати реакцію машинно-тракторного агрегату на керувальний вплив [8]. У нашому випадку таким є кут повороту передніх коліс трактора. Відгуком (або реакцією) на цей вплив розглядатимемо курсовий кут трактора, а в підсумку – коливання траєкторії борозни, яка певним чином характеризує коливання ширини захвату орного МТА.

Лабораторно-польові дослідження проводили двома орними машинно-тракторними агрегатами на базі трактора серії ХТЗ-16131. У першому з них фронтальний плуг був налаштований з опорним колесом (варіант 1), а в другому – без нього (варіант 2, рис. 1).



Рис. 1. Орний агрегат з фронтальним плугом без опорного колеса

Для запису курсового кута й кута повороту передніх керованих коліс трактор ХТЗ-16131 був обладнаний вимірювально-реєстраційним комплексом на основі Arduino Uno. Крім власне мікроконтролера, цей комплекс містив необхідні датчики, автономне джерело живлення й пристрій запису оцифрованих сигналів на мікро CD (карту пам'яті). Отримані так дані використовували для розрахунку необхідних статистичних характеристик.

Аналіз отриманих експериментальних даних засвідчує, що при застосуванні фронтального плуга без опорного колеса спектр коливань кута повороту керованих коліс трактора є вужчим за спектр коливань цього ж параметра для агрегату з фронтальним плугом, обладнаним опорним колесом (рис. 2). Так, при налагодженні орного МТА за варіантом 1 частота зрізу нормованої спектральної щільності коливань кута повороту трактора дорівнює $0,7 \text{ с}^{-1}$. Це означає, що найменше 95 % дисперсії коливань цього параметра зосереджена в діапазоні $0 \dots 0,7 \text{ с}^{-1}$ або $0 \dots 0,11 \text{ Гц}$.

Натомість при налаштуванні орного агрегату за варіантом 1 ця частота є на 28,6 % меншою і становить $0,5 \text{ с}^{-1}$. Відповідно вужчим є й діапазон, у якому зосереджена основна доля дисперсії коливань кута повороту керованих коліс трактора з фронтальним плугом без опорного колеса.

Якісно характер коливань курсового кута трактора при його функціонуванні в складі обох орних МТА приблизно такий самий, як і в процесі коливань кута повороту керованих коліс енергетичного засобу. У кількісному вираженні ці процеси дещо різні. А саме – при роботі трактора з фронтальним плугом з опорним колесом (варіант 1) спектр дисперсій коливань курсового кута трактора зосереджений у діапазоні частот $0 \dots 0,5 \text{ с}^{-1}$ або $0,08 \text{ Гц}$ (рис. 3).

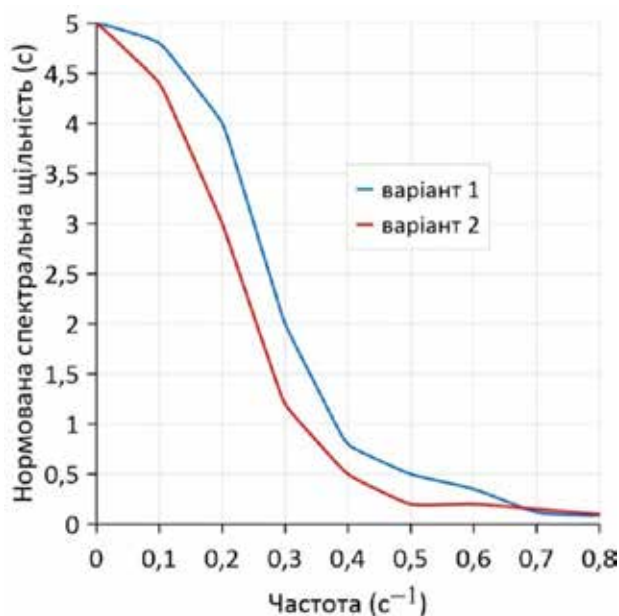


Рис. 2. Нормовані спектральні щільності коливань курсового кута трактора орних МТА

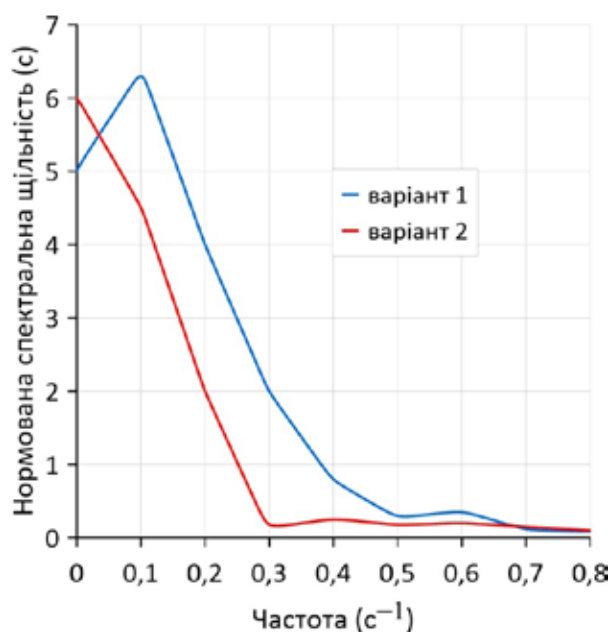


Рис. 3. Нормовані спектральні щільності коливань кута повороту керованих коліс трактора орних МТА

Порівняно з орним агрегатом за варіантом 2 частота зрізу відповідної нормованої спектральної щільності не перевищує позначки 0,3 с⁻¹. Це на 40 % менше. Ба більше, максимум дисперсії коливань курсового кута трактора при його функціонуванні з фронтальним плугом без опорного колеса (варіант 1, рис. 3) припадає на частоту 0,1 с⁻¹. В орного агрегату за варіантом 2 таке має місце за частоти, яка майже наближена до нуля.

Загалом, аналіз рисунків 2 і 3 показує, що спектр коливань курсового кута трактора вужчий, ніж спектр коливань кута повороту його керованих коліс. І такий результат, притаманний обом

варіантам орного машинно-тракторного агрегату, є цілком логічним з огляду на більшу інерційність корпусу енергетичного засобу порівняно з інертністю його керованих коліс.

Оскільки кут повороту керованих коліс трактора є входом, а курсовий кут енергетичного засобу – виходом такої динамічної системи, як орний агрегат, то цікаво знати ступінь кореляції між цими входною і вихідною величинами. Найінформативнішою статистичною характеристикою такого зв'язку є нормована взаємна кореляційна функція [9; 10] (рис. 4).

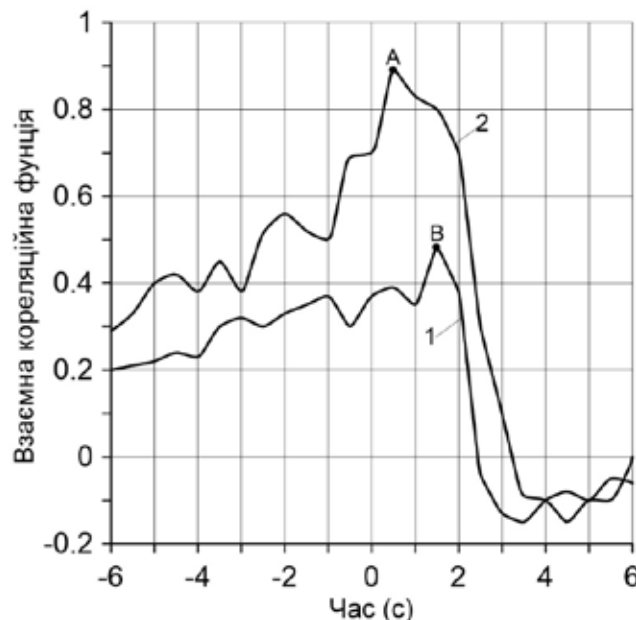


Рис. 4. Нормовані взаємні кореляційні функції коливань курсового кута трактора під впливом коливань кута повороту його керованих коліс для орних агрегатів з фронтальним плугом з опорним колесом (1) і без нього (2)

Її предметний аналіз засвідчує таке. В орного машинно-тракторного агрегату за варіантом 1 максимальне значення нормованої взаємної кореляційної функції становить 0,5 (точка В, крива 1, рис. 4). У зоні максимуму цієї функції має місце позитивний кореляційний зв'язок між кутом повороту керованих коліс трактора і його курсовим кутом. Точка В зміщена вправо від нульової осі (ординати) на 1,2 с. Це вказує на те, що саме на такий час запізнюється реакція трактора (зміна його курсового кута) на керувальний вплив (кут повороту керованих коліс енергетичного засобу). Крім того, зміщення часу запізнення цієї динамічної системи вправо від нульової осі вказує на те, що її входом є кут повороту керованих коліс, а виходом – курсовий кут трактора. Якби таке часове запізнення зміщене вліво від нульової осі, то мав б місце інший протилежний стан динамічної системи. А саме – у такому випадку її входом був би курсовий кут енергетичного засобу, а виходом – кут повороту його керованих коліс.

Водночас в орного агрегату за варіантом 2, як у динамічної системи, має місце теж позитивний кореляційний зв'язок між входом (керувальним впливом) і виходом. Проте максимальне значення цього зв'язку сягає позначки 0,9 (точка А, крива 2, рис. 4). А це у 1,8 раза більше порівняно з орним агрегатом за варіантом 1. Практично таке означає, що застосування фронтального плуга без опорного колеса забезпечує більш тісний кореляційний зв'язок між кутом повороту керованих коліс трактора і його курсовим кутом. Ба більше, налаштування орного МТА за варіантом 2 (тобто без опорного колеса) дає змогу зменшити запізнення реакції трактора на зміну керувального впливу до 0,5 с. Це втричі менше, ніж в орного агрегату з фронтальним плугом, обладнаним таким колесом (див. рис. 4).



У підсумку можна зазначити, що налаштування орного агрегату з фронтальним плугом без опорного колеса дає змогу підвищити керованість руху всього МТА з одночасним зменшенням його запізнення на керувальний вплив у вигляді кута повороту керованих коліс трактора.

У практичному сенсі підвищення керованості руху орного агрегату відобразилося на коливаннях траєкторії борозни після його проходу. Як показав аналіз експериментальних даних, спектр коливань цього параметра в агрегаті з фронтальним плугом без опорного колеса вужчий, ніж в агрегаті з передньонавісним орним знаряддям, обладнаним опорним колесом.

Так, в агрегаті за варіантом 1 спектр дисперсій коливань траєкторії борозни зосереджений у діапазоні частот $0 \dots 0,7 \text{ м}^{-1}$. За швидкості руху такого машинно-тракторного агрегату $2,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ це $0 \dots 1,54 \text{ с}^{-1}$ або $0 \dots 0,25 \text{ Гц}$.

Натомість в агрегаті за варіантом 2 спектр дисперсій коливань траєкторії сформованої борозни є вужчим і дорівнює $0 \dots 0,6 \text{ м}^{-1}$. За швидкості руху цього агрегату на рівні $2,36 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ цей діапазон становить $0 \dots 1,42 \text{ с}^{-1}$ або $0,22 \text{ Гц}$. Такий результат однозначно вказує на те, що використання фронтального плуга без опорного колеса не призводить до розширення спектра коливань траєкторії борозни попереднього проходу орного машинно-тракторного агрегату.

Висновки

1. При застосуванні фронтального плуга без опорного колеса спектр коливань кута повороту керованих коліс трактора є вужчим за спектр коливань цього ж параметра для агрегату з фронтальним плугом, обладнаним опорним колесом, що є фактом бажаним.

2. Аналіз експериментальних даних показує, що спектр коливань курсового кута трактора вужчий, ніж спектр коливань кута повороту його керованих коліс. Такий результат, притаманний обома варіантам орного машинно-тракторного агрегату, є цілком логічним з огляду на більшу інерційність корпусу енергетичного засобу порівняно з інертністю його керованих коліс.

3. В орного машинно-тракторного агрегату за варіантом 1 максимальне значення нормованої взаємної кореляційної функції становить 0,5. У зоні максимуму цієї функції має місце позитивний кореляційний зв'язок між кутом повороту керованих коліс трактора і його курсовим кутом. Максимум кореляційної функції зміщений вправо від нульової осі (ординати) на 1,2 с. Це вказує на те, що саме на такий час запізнюється реакція трактора (зміна його курсового кута) на керувальний вплив (кут повороту керованих коліс енергетичного засобу).

4. В орного агрегату за варіантом 2, як у динамічній системи, має місце позитивний кореляційний зв'язок між входом (керувальним впливом) і виходом. Максимальне значення цього зв'язку сягає позначки 0,9. А це в 1,8 рази більше порівняно з орним агрегатом за варіантом 1. Практично це означає, що застосування фронтального плуга без опорного колеса забезпечує більш тісний кореляційний зв'язок між кутом повороту керованих коліс трактора і його курсовим кутом. Ба більше, налаштування орного МТА за варіантом 2 (тобто без опорного колеса) дає змогу зменшити запізнення реакції трактора на зміну керувального впливу до 0,5 с. Це втричі менше, ніж в орного агрегату з фронтальним плугом, обладнаним таким колесом.

Список використаних джерел

1. Kraut-Cohen J., Zolti A., Shaltiel-Harpaz L. et al. Effects of tillage practices on soil microbiome and agricultural parameters. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 705. P. 135791. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135791.
2. Bulgakov V., Ivanovs S., Nadykto V., Petrov G. Investigation of front plough functioning stability conditions without support wheel. *Engineering for Rural Development*, 2023. P. 562–570. doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF116.
3. Nadykto V., Golub G., Kyurchev V. et al. Determining Vertical Oscillations of Front-Plow Tractor Without Support Wheel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1. Is. 1. P. 37–47. doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296842.



4. Zhang Sh., Xie B., Wen Ch. Et al. Intelligent ballast control system with active load-transfer for electric tractors. *Biosystems Engineering*. 2022. Vol. 215. P. 143–155. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.008.
5. Csatlos, C. The Frontal and Rear Ploughs Effects on 4WD Tractors, in: *The 3rd International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering"*. 2009. P. 194–199.
6. ASAE Standards S513, 2003. Agricultural wheeled tractors – Front-hitched three-point linkage. St. Joseph, Michigan: ASAE.
7. Singh N., Pandey K. Development of Visual Basic Program to Design Front Mounted Three-Point Linkage for Higher Power Tractors. *Advances Research*. 2017. Vol. 11. Is. 2. P. 1–10. doi.org/10.9734/air/2017/35767.
8. Кувачов В. П., Мітков В. Б. Обґрунтування критеріїв оптимальності сумісного маршрутизованого руху технологічного комплексу МТА. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2012. №. 2, Т. 5. С. 8–14.
9. Schumacker R. & Tomek S. Understanding Statistics Using R. Springer, New York, NY, 2013. 297 p. doi: 10.1007/978-1-4614-6227-9_11.
10. Witte R.S., Witte J.S. Statistics. *John Wiley & Sons*. 2017. 320 p.

Стаття надійшла до редакції 17.02.2025 р.

V. Nadykto, G. Petrov

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

CONTROLLABILITY STUDY OF THE PLOUGH MOTION WITH FRONT PLOUGH WITHOUT SUPPORT WHEEL

Summary

Using plough units characterizes modern agricultural production according to the “push-pull” scheme. Its feature is the use of a front plough. Usually, this plough tool is used with a support wheel. This study considers analyzing the stability of the plough movement unit with a front plough with a support wheel (option 1) compared to the option without it (option 2). The studies have established that when using the unit according to option 2, the oscillations spectrum of the tractor-steered wheels’ rotation angle is narrower than that of the same parameter for the unit with a front plough equipped with a support wheel. The oscillation spectrum of the tractor course angle is narrower than the oscillation spectrum of the angle of rotation of its steered wheels. This result is inherent in both options of the plough machine-tractor unit. In the plough unit, according to option 2, as in the dynamic system, there is a positive correlation between the input (control influence) and the output. The maximum value of this relationship reaches 0.9. And this is 1.8 times more than in the plough unit according to option 1. In practice, this means that using a front plow without a support wheel provides a closer correlation between the rotation angle of the tractor’s steered wheels and its course angle.

Keywords: tractor, steered wheels, course angle, spectral density, cross-correlation function.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-5

УДК 621.225.001.4

А. І. Панченко¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-1230-1463

А. А. Волошина¹, д-р. техн. наук

ORCID: 0000-0003-4052-2674

І. А. Панченко¹, інженер

ORCID: 0000-0003-2150-4278

І. М. Холод¹, інженерА. А. Волошин², викладач спецдисциплін¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: voloshinaa2012@gmail.com

²ВСП «Мелітопольський фаховий коледж ТДАТУ»

ВПЛИВ ПОХИБКИ ЗУБЧАСТОГО ПРОФІЛЮ РОТОРІВ ПЛАНЕТАРНОГО ГІДРОМОТОРА НА ЙОГО ТЕХНІЧНИЙ СТАН

Анотація. У сучасних мехатронних системах приводу активних робочих органів мобільної техніки дедалі частіше знаходять застосування гідромашини об'ємного принципу дії, а саме планетарні гідромотори, які є досить складним механізмом з деталями, що становлять прецизійне з'єднання. Тому однією з проблем, що зумовлюють працездатність планетарних гідромашин, є контроль точності виготовлення його роторів. У результаті проведених досліджень розроблено та обґрунтовано розмірний ланцюг, розроблено розрахункову схему, створено методи та пристрої контролю, встановлено вплив зазору на технічний стан планетарного гідромотора. Установлено, що граничні значення цього проміжку можуть бути використані для нормування функціональних параметрів, що впливають на працездатність гідромотора.

Ключові слова: система переміщень, методи та засоби контролю, розмірний ланцюг, відхилення форми).

Постановка проблеми. У сучасних мехатронних системах приводу активних робочих органів мобільної техніки дедалі частіше знаходять застосування гідромашини об'ємного принципу дії. Ці гідромашини забезпечують точне й потужне управління, необхідне для ефективної роботи різного устаткування, від будівельної техніки до сільськогосподарських машин. Серед різних типів об'ємних гідромашин особливо поширені шестеренні [1] та аксіально-поршневі [2; 3]. Нині накопичений значний досвід у проектуванні та виробництві цих гідромашин, що дає змогу створювати надійні та довговічні пристрої.

Однак цей накопичений досвід, на жаль, не завжди може бути безпосередньо використаний при розробці та виготовленні орбітальних та планетарних гідромашин. Це пов'язано з принциповими конструктивними особливостями роторів цих гідромашин, які суттєво відрізняються від роторів шестерених або аксіально-поршневих аналогів. Тоді як шестеренні та аксіально-поршневі гідромашини використовують прості принципи обертального або зворотно-поступального руху для витіснення робочої рідини, орбітальні та планетарні гідромашини застосовують більш складну траєкторію руху [4].

Витискувальна система планетарного (орбітального) гідромотора, як і будь-якої іншої гідравлічної машини об'ємної дії, є складним і прецизійним механізмом [5; 6]. Деталі цієї системи вимагають високої точності виготовлення та обробки, оскільки від цього залежить ефективність і надійність роботи гідромотора. Будь-які відхилення від заданих розмірів або форми можуть призвести до витоків робочої рідини, зниження крутного моменту і, в підсумку, до відмови всієї системи.

Основним елементом витискувальної системи (системи роторів) планетарного гідромотора є роторна пара [7], що складається із зовнішнього нерухомого та внутрішнього рухомого рото-

рів. Зовнішній ротор (рис. 1, а) має вставні зубці або ролики, які контактують із зубчастим контуром внутрішнього ротору. Внутрішній ротор (рис. 1, б), своєю чергою, має складну форму із зубами, які входять у зачеплення із зубами зовнішнього ротора.

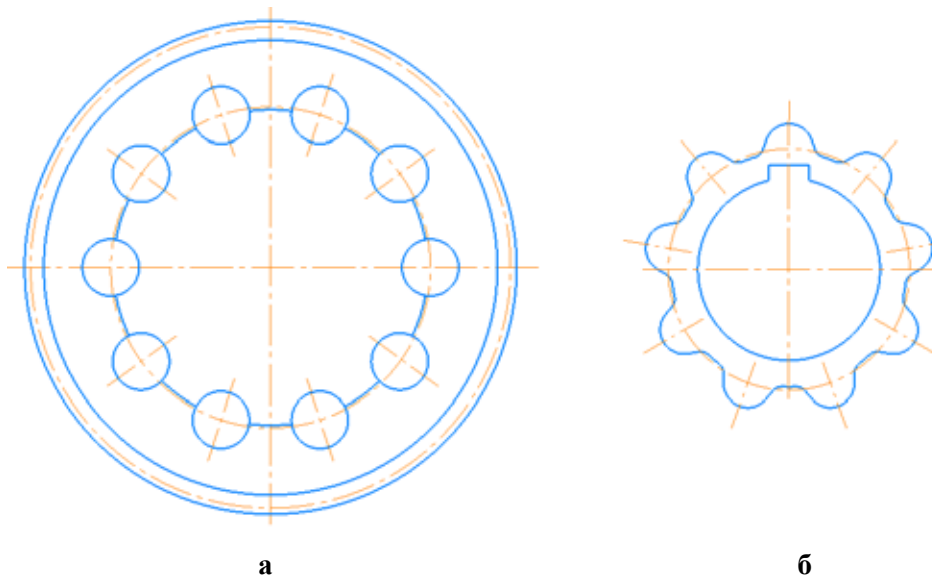


Рис. 1. Елементи системи роторів планетарного гідромотора:
а – зовнішній ротор зі вставними зубцями (роликами); б – внутрішній ротор

Принцип роботи планетарного гідромотора ґрунтується на взаємодії роторів, що утворюють зубчасту пару з внутрішнім гіпоциклоїдальним зачепленням. Така складна геометрія зубчастого профілю роторів обрана не випадково. Вона дає змогу одночасно виконувати два важливі завдання: по-перше, забезпечити обкатування (або складне переміщення) внутрішнього ротора всередині зовнішнього, перетворюючи енергію потоку робочої рідини в обертальний рух; по-друге, забезпечити ефективну герметизацію зони нагнітання (високого тиску) від зони зливу (низького тиску). Герметизація необхідна для запобігання перетіканню робочої рідини та підтримки необхідного крутного моменту на вихідному валу гідромотора.

Так, точність виготовлення зубчастого профілю роторів відіграє вирішальну роль у забезпеченні працездатності планетарного гідромотора. Будь-які відхилення від заданих параметрів, наприклад, неточність виготовлення профілю зубчастих поверхонь роторів, можуть призвести до істотного зниження ефективності й надійності роботи всього гідромотора. Тому розробка й виробництво планетарних гідромоторів потребує застосування спеціальних технологій та обладнання, що забезпечують високу точність і якість виготовлення зубчастих поверхонь роторів.

Аналіз останніх досліджень. У напрямі розробки, проєктування та експлуатації мехатронних систем з гідравлічним приводом проведено низку досліджень, спрямованих на підвищення їх ефективності й точності. Зокрема, запропоновано різні підходи до активного контролю динамічного просторового позиціонування [8], визначено умови статичної рівноваги таких систем [9], розроблено алгоритми управління для забезпечення необхідних характеристик [10], досліджено динамічну точність [11] та динамічні процеси позиціонування просторових приводів [12], а також вивчено зміни вихідних характеристик мехатронних систем при різних режимах експлуатації [13]. Крім того, розроблено методику проєктування гідравлічних мехатронних систем, що містить елементи багатокритеріальної оптимізації [14], що дає змогу знаходити оптимальні рішення з урахуванням різних вимог та обмежень. Проте варто зазначити,

що в зазначених роботах майже не розглядається вплив точності виготовлення окремих елементів системи на її загальну функціональність. Цей аспект, незважаючи на його потенційну значущість, залишається поза увагою дослідників.

На сьогоднішній день велика увага приділяється аксіально-поршневим [2; 3], радіально-поршневим [15] та відцентровим гідромашинам [16; 17], пристрій яких відрізняється від орбітальних та героторних гідромашин. Аналіз наукової літератури виявив дефіцит досліджень, присвячених методології проектування та виробництва героторних насосів, а також орбітальних і планетарних гідромоторів [18]. Є окремі роботи, у яких розглянуто сили, що діють у зубчастому зачепленні роторних пар [19], та розроблено моделі, які враховують компресійний стан робочої рідини в робочих камерах [20]. Також розроблено математичну модель, що описує зміну навантажень у зубчастому зачепленні [21], і створено програму, що дає змогу враховувати рівняння гідродинаміки руху рідини в робочих камерах героторного насоса [22]. Представлені геометричні [23], розрахункові [24; 25] та гідродинамічні [26] моделі героторного насоса, що дають змогу аналізувати його роботу на різних режимах. Розроблено математичні моделі, що описують взаємозв'язок конструктивних особливостей роторів та вихідних характеристик орбітального гідромотора [5] та дають змогу моделювати зміну технічного стану роторів у процесі експлуатації [6]. Проведено низку експериментальних досліджень [27], що підтверджують результати математичного моделювання роботи системи роторів [28] та розподільної системи [29] планетарних гідромашин. Однак вплив точності виготовлення елементів системи роторів на зміну вихідних характеристик планетарних гідромашин не розглядався.

Так, нині є гостра необхідність проведення досліджень, спрямованих на визначення й кількісну оцінку впливу похибки виготовлення зубчастого профілю роторів планетарного гідромотора на його вихідні характеристики. Вирішення цього актуального та маловивченого завдання дасть змогу значно покращити якість та ефективність виробництва планетарних гідромоторів, а також підвищити їх надійність і довговічність.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою дослідження є поліпшення вихідних характеристик планетарного гідромотора під час його виготовлення шляхом визначення похибки виготовлення зубчастого профілю його роторів. Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі завдання: розробити розмірний ланцюг, що відображає взаємодію зубчастих профілів роторів планетарного гідромотора, та обґрунтувати контрольовані параметри, що визначають похибку виготовлення цих роторів; розробити розрахункову схему й визначити геометричний та функціональний взаємозв'язок розташування точок контакту зубчастих профілів зовнішнього й внутрішнього роторів планетарного гідромотора; розробити методи та пристрої для контролю похибки форми внутрішнього й зовнішнього роторів планетарного гідромотора.

Основна частина. У планетарних гідромоторах ротори не мають жорсткого кінематичного зв'язку між собою [4–7]. Отже, при визначенні похибки (точності) виготовлення роторів необхідно враховувати точки контакту зубчастих профілів, що забезпечують працездатність гідромотора. З урахуванням особливостей роботи роторів [30] розроблено розмірний ланцюг, що відображає взаємодію зубчастих профілів зовнішнього та внутрішнього роторів у процесі роботи (рис. 2). Цей розмірний ланцюг заснований на точках контакту (a_1 , a_2 та b_1 , b_2), що визначаються дотиком зубчастих поверхонь роторів. Ці точки розташовані діаметрально протилежно щодо центрів роторів O_1 та O_2 .

Розроблений розмірний ланцюг (рис. 1) можна спрощено представити як зменшувальну ланку A_Δ , що характеризує внутрішній ротор, і збільшувальну ланку B_Δ , яка характеризує зовнішній ротор. Замикає розмірний ланцюг технологічний (діаметральний) зазор G , необ-

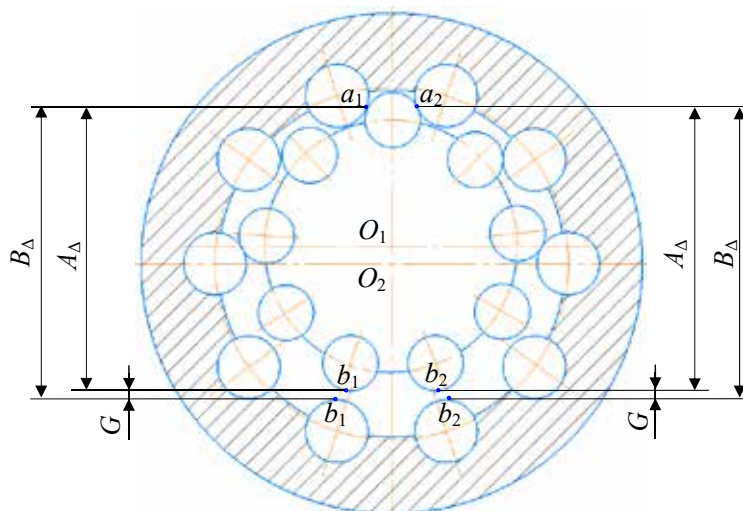


Рис. 2. Розмірний ланцюг взаємодії роторів планетарного гідромотора

хідний для компенсації температурного розширення роторів, що визначається як різниця між розмірами B_{Δ} і A_{Δ} : $G = B_{\Delta} - A_{\Delta}$ [30].

Для практичної реалізації запропонованого розмірного ланцюга розроблено розрахункову схему (рис. 2), що дає змогу визначити взаємозв'язок між розташуванням точок контакту й параметрами A_{Δ} і B_{Δ} . Варто зазначити, що розміри A і B є комплексними і залежать від геометричних параметрів як внутрішнього ротора (R_1 , r_1 і β_1), так і зовнішнього (R_2 , r_2 і β_2). Розташування точок контакту (a_1 , a_2) зуба внутрішнього ротора з двома зубами (роliками) зовнішнього ротора визначається радіусом r_1 зуба внутрішнього ротора та кутом λ , утвореним нормаллями, що проходять через ці точки контакту (рис. 3).

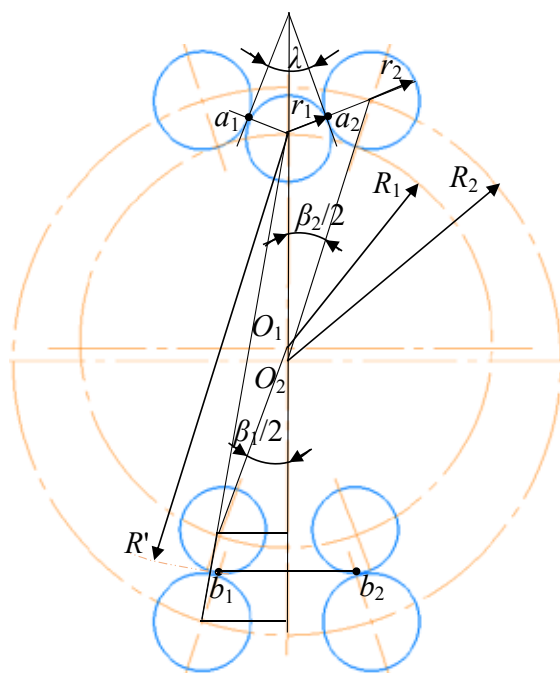


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення геометричного взаємозв'язку розташування точок контакту утворених зубчастими профілями зовнішнього та внутрішнього роторів

Ураховуючи вищесказане, кут λ , утворений нормаллями, що проходять через точки контакту a_1 і a_2 , буде визначатися рівнянням

$$\lambda = 2 \arccos \frac{R_2 \cdot \sin(\beta_1 / 2)}{r_1 + r_2}, \quad (1)$$

де R_2 – радіус кола розташування центрів зубів зовнішнього ротора; β_2 – кут розташування центрів зубів зовнішнього ротора; r_1 і r_2 – радіуси зубів внутрішнього та зовнішнього роторів відповідно.

Розташування точок контакту (b_1 , b_2) двох пар зубів внутрішнього та зовнішнього роторів (рис. 2) визначаються радіусом точок контакту описаним з центру протилежного зуба внутрішнього ротора

$$R' = \frac{R_1 \cdot (1 + \cos(\beta_1 / 2)) + r_1 \cdot \cos(\beta_1 / 4)}{\cos(\beta_1 / 4)}, \quad (2)$$

де R_1 – радіус кола розташування центрів зубів внутрішнього ротора; β_1 – кут розташування центрів зубів внутрішнього ротора.

Відхилення параметрів A_Δ і B_Δ визначають похибку форми E_1 і E_2 внутрішнього й зовнішнього роторів відповідно [4–7]: $E_1 = A_{\max} - A_{\min}$, $E_2 = B_{\max} - B_{\min}$.

Для вимірювання цих відхилень (A_Δ і B_Δ) розроблено спеціальні методи та контрольно-вимірювальні пристрої (рис. 3). Основною особливістю запропонованого методу контролю є одночасне вимірювання контрольованих параметрів для обох роторів по обидва боки лінії центрів O_1 і O_2 . Вимірювальні пристрої сконструйовані так, щоб максимально точно імітувати взаємодію деталей, що сполучаються.

Вимірювальний пристрій, призначений для контролю параметра A_Δ внутрішнього ротора (рис. 4, а), містить стіл 1, базова поверхня (а) якого виконана у вигляді призми з кутом λ , зумовленим кінематикою зачеплення. На стійці 2, яка жорстко пов'язана зі столом 1, закріплений рухомий вимірювальний наконечник 3. Робоча поверхня (b) наконечника виконана у вигляді увігнутого сегмента з радіусом R' , що дає змогу імітувати точки контакту в умовах реального зачеплення. Пружина 4 забезпечує надійний і постійний контакт вимірювального наконечника 3 із зубцями контрольованого ротора 6. Індикатор 5, установлений на стійці 2, кінематично пов'язаний з вимірювальним наконечником 3 і фіксує зміни положення.

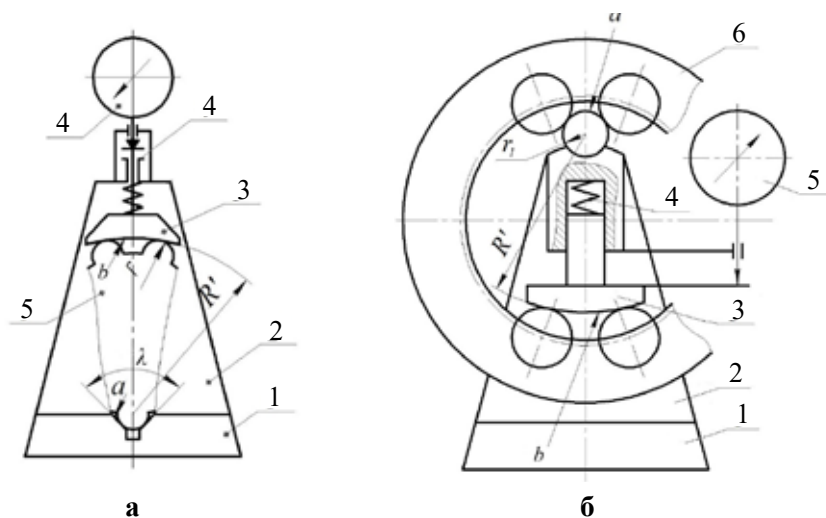


Рис. 4. Вимірювальні пристрої контролю похибки форми внутрішнього (а) і зовнішнього (б) роторів планетарного гідромотора: 1 – стіл; 2 – стійка; 3 – вимірювальний наконечник; 4 – пружина; 5 – індикатор; 6 – контрольований ротор

Таке базування контрольованого внутрішнього ротора забезпечує його самоустановку на вимірювальній позиції.

Вимірювання параметра A_{Δ} внутрішнього ротора (рис. 3, а) здійснюється так: вимірювальний пристрій налаштовується на номінальний розмір за допомогою еталонної деталі. Потім контрольований внутрішній ротор 6 устатковується на базову поверхню (а) столу 1 так, щоб зуб ротора торкався призми в точках a_1 і a_2 , а два протилежні зуби перебували в контакті з робочою поверхнею (b) сегментної проточки вимірювального наконечника 3 в точках b_1 і b_2 . Відхилення від номінального розміру визначається за показниками індикатора 5.

Принцип вимірювання параметра B_{Δ} для зовнішнього ротора (у зборі з роликами) (рис. 3, б) аналогічний вимірюванням параметра A_{Δ} . Вимірювальний пристрій містить стіл 1, з'єднаний зі стійкою 2, на якій розташована базова поверхня, виконана у вигляді ролика з радіусом r_1 . Рухомий вимірювальний наконечник 3 має робочу поверхню (b) у вигляді опуклого сегмента з радіусом R' , що імітує точки контакту в реальному зачепленні. Пружина 4 забезпечує постійне притискання вимірювального наконечника 3 до контрольованого ротора 6. Відхилення вимірюваного параметра від номінального значення фіксується за показаннями індикатора 5. Вимірювальний наконечник 3 забезпечує самовстановлення контрольованого ротора 6 на вимірювальній позиції.

Перед вимірюванням параметра B_{Δ} вимірювальний пристрій (рис. 3, б) налаштовується еталонною деталлю на номінальний розмір. Потім контрольований зовнішній ротор 6 (з роликами) встановлюється на вимірювальний пристрій так, щоб його два ролики спиралися на базову поверхню, виконану у вигляді ролика з радіусом r_1 , в точках a_1 і a_2 . Під дією пружини 4 рухомий вимірювальний наконечник 3 своєю опуклою сегментною поверхнею контактує з двома протилежними роликами зовнішнього ротора 6 в точках b_1 і b_2 . Відхилення від номінального розміру визначається за показниками індикатора 5.

Перевірка розроблених засобів контролю дала змогу виявити відхилення похибки форми виготовлення роторів шляхом вимірювання запропонованих комплексних контрольованих параметрів A_{Δ} і B_{Δ} для внутрішнього й зовнішнього роторів відповідно (рис. 5).

У результаті проведених вимірювань вдалося визначити граничні значення допустимих похибок форми виготовлення внутрішнього та зовнішнього роторів, що використовують у планетарному (орбітальному) гідромоторі. Граничні значення похибки форми виготовлення рото-

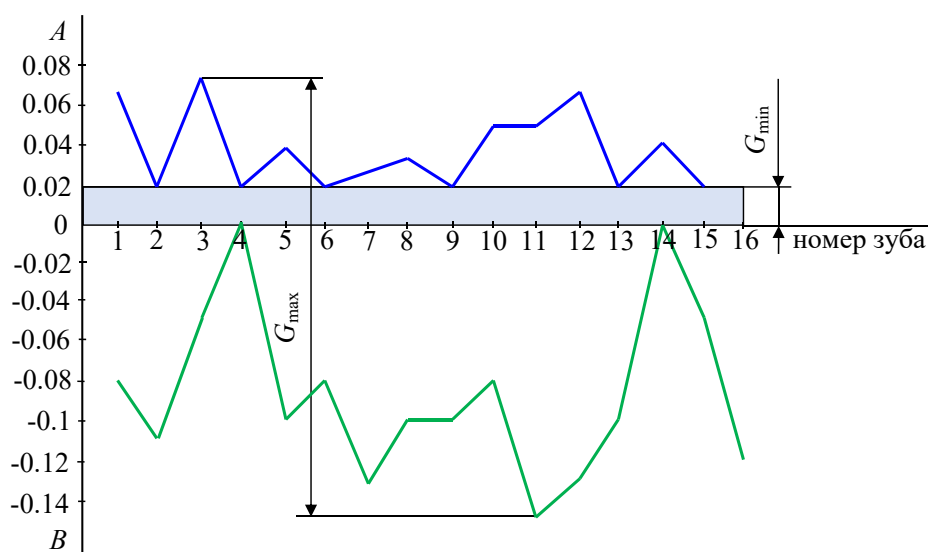


Рис. 5. Відхилення похибки форми виготовлення роторів:
1 – внутрішнього; 2 – зовнішнього

рів (табл. 1) безпосередньо залежать від технологічних можливостей, які застосовують під час їх виготовлення. Визначення цих меж є критично важливим для забезпечення необхідних робочих характеристик гідромотора та його довговічності.

Таблиця 1

Граничні значення похибки форми виготовлення роторів

A	max	+0,072	E_1	0,052	$G_{\max}$	0,214
	min	+0,02				
B	max	0,00	E_2	0,142		
	min	-0,142				

Аналіз даних, наведених у таблиці 1, показує, що похибка форми виготовлення внутрішнього ротора E_1 становить 0,052 мм, а зовнішнього ротора E_2 виявилася значно вищою і становить 0,142 мм. Ці значення характеризують відхилення від ідеальної геометрії роторів, які можуть впливати на їх взаємне розташування, а отже, на ефективність роботи гідромотора. Крім того, встановлено, що величина робочого зазору G між роторами планетарного гідромотора варіюється від 0,02 мм до 0,214 мм. Цей зазор є критично важливим параметром, що визначає гідравлічний опір та витоку робочої рідини в гідромоторі.

Перевірка, проведена в реальних умовах експлуатації, показала, що величина робочого зазору G може бути параметром, який відображає технічний стан планетарного гідромотора. Зміна величини зазору може вказувати на зношування роторів, деформацію або інші проблеми. Враховуючи це, граничне значення припустимого зазору може бути закладено в основу нормування функціональних параметрів, що визначають працездатність планетарного гідромотора.

Висновки. У результаті проведеної роботи досягнуто таких основних результатів:

1. Розроблено та обґрунтовано розмірний ланцюг: створено розмірний ланцюг, який точно описує взаємодію зубчастих профілів роторів планетарного гідромотора. Визначено ключові контрольовані параметри, що дають змогу оцінювати похибку виготовлення цих роторів.

2. Визначено взаємозв'язок точок контакту: розроблено розрахункову схему, що дає змогу встановити геометричну та функціональну взаємозв'язок між розташуванням точок контакту зубчастих профілів зовнішнього й внутрішнього роторів орбітального гідромотора. Це дає змогу більш точно прогнозувати та контролювати роботу планетарного гідромотора.

3. Створено методи й пристрої контролю: розроблено та випробувано ефективні методи й пристрої для контролю похибки форми виготовлення внутрішнього та зовнішнього роторів планетарного гідромотора. Проведена виробнича перевірка розроблених засобів контролю підтвердила їх ефективність: похибка форми внутрішнього ротора становила 0,052 мм, а зовнішнього – 0,142 мм.

4. Установлено вплив зазору на технічний стан: визначено, що величина зазору між роторами (0,02...0,214 мм) є важливим параметром, що характеризує технічний стан планетарного гідромотора. Установлено, що граничні значення зазору можуть бути використані для нормування функціональних параметрів, які впливають на працездатність гідромотора, що дає змогу використовувати зазор для діагностики технічного стану гідромоторів.

Список використаних джерел

1. Choi, T., Kim, M., Lee, G. et al.: Design of rotor for internal gear pump using cycloid and circular-arc curves. *Journal of Mechanical Design* 134(1), 011005-12 (2012), doi: 10.1115/1.4004423.
2. Vacca, A., Klop, R., Ivantysynova, M.: A numerical approach for the evaluation of the effects of air release and vapour cavitation on effective flow rate of axial piston machines. *International Journal of Fluid Power* 1(11), 33-45 (2010), doi: 10.1080/14399776.2010.10780996.



3. Elashmawy, M.: Design of Swashplate Axial Piston Machines Having Low Piston Transverse Forces. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications* 3(1) 17 (2015), doi: 10.11648/j.ijmea.s.2015030102.13.
4. Panchenko, A., Voloshina A., Luzan P., Panchenko I., Volkov, S: Kinematics of motion of rotors of an orbital hydraulic machine. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1021, 012045 (2021), doi: 10.1088/1757-899X/1021/1/012045.
5. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А. Пастушенко С. І. Дослідження впливу похибки форми виготовлення роторів на вихідні характеристики планетарних гідромоторів. *Праці ТДАТУ імені Дмитра Моторного*. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 33–48. doi: 10.31388/2078-0877-19-4-33-48
6. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А. Надійність конструкції роторів планетарного гідромотора. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. Вип. 20. Т. 1. С. 82–92. doi:10.31388/2078-0877-20-1-82-92
7. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко А. І., Волошин А. А. Вплив величини діаметрального зазору на кінематику руху внутрішнього ротора орбітального гідромотора. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь : ТДАТУ, 2023. Вип. 13. Т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-3>
8. Strutinsky, V., Demyanenko, A.: The development of mechatronic active control system of tool spatial position of parallel kinematics machine tool. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics* 54(3), 757–768 (2016), <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.54.3.757>.
9. Strutynsky, V., Hurzhi, A., Kozlov, L.: Determination of static equilibrium conditions of mobile terrestrial complex with lever-type manipulator. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 5, 79–86 (2019), doi: 10.29202/nvngu/2019-5/7.
10. Strutynskiy, S., Nochnichenko, I.: design of parallel link mobile robot manipulator mechanisms based on function-oriented element base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 4/7(100), 54–64 (2019), <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174613>.
11. Strutynskiy, S.: Defining the dynamic accuracy of positioning of spatial drive systems through consistent analysis of processes of different range of performance. *Naukovyi Visnyk NHU* 3, 64–73 (2018), doi: 10.29202/nvngu/2018-3/13.
12. Strutynskiy, S., Nochnichenko, I.: Design of parallel link mobile robot manipulator mechanisms based on function-oriented element base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 4 7(100), 54–64 (2018), doi: 10.15587/1729-4061.2019.174613.
13. Voloshina, A., Panchenko, A., Titova ,O., Panchenko, I.: Changes in the dynamics of the output characteristics of mechatronic systems with planetary hydraulic motors. *Journal of Physics: Conference Series* 1741, 012045 (2021), doi: 10.1088/1742-6596/1741/1/012045
14. Voloshina, A., Panchenko, A., Panchenko, I., Titova, O., Caldare, A.: Design of Hydraulic Mechatronic Systems with Specified Output Characteristics. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, 42–51 (2020), doi: 10.1007/978-3-030-50491-5_5.
15. Maiti, R., Nagao, M.: Prediction of starting torque characteristics of epitrochoid generated orbital rotary piston hydraulic motors. *International journal series C-mechanical systems machine elements and manufacturing* 2(42), 416–426.
16. González, J., Oro, J., Argüelles-Díaz, K.: Flow analysis for a double suction centrifugal machine in the pump and turbine operation modes. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 2(61), 220–236 (2009), doi: 10.1002/flid.1951.
17. Yao, J., Shi, W., Wu, S., Zhang, D., Wang, H., Hu, Q.: Numerical calculation and experiment on pressure fluctuation in axial flow pump. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* 1(44), 119–124 (2013), doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.022.
18. Gamez-Montero, P., Codina, E., Castilla, R.: A Review of Gerotor Technology in Hydraulic Machines. *Energies* 12, 2423 (2019), doi: 10.3390/en12122423.
19. Ivanovic, L., Miric, N., Devedzic, G., Ćuković, S.: Analysis of forces and moments in gerotor pumps. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 10(224), 2257–2269 (2010), doi: 10.1243/09544062JMES2041.
20. Chang, Y., Kim, J., Jeon, C., Chul, K., Jung, S.: Development of an Integrated System for the Automated Design of a Gerotor Oil Pump. *Journal of Mechanical Design* 129(10), 1099–1105 (2006), doi: 10.1115/1.2757629.
21. Stryczek, J., Bednarczyk, S., Biernacki, K.: Strength analysis of the polyoxymethylene cycloidal gears of the gerotor pump. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 4(14), 647–660 (2014), doi: 10.1016/j.acme.2013.12.005.

22. Stryczek, J., Bednarczyk, S., Biernacki, K.: Gerotor pump with POM gears: Design, production technology, research. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 3(14), 391–397 (2014), doi: 10.1016/j.acme.2013.12.008.
23. Chiu-Fan, H.: Flow characteristics of gerotor pumps with novel variable clearance designs. *Journal of Fluids Engineering* 137(4), FE-14-1137 (2015), doi: 10.1115/1.4029274.
24. Van de Ven, J. D.: On fluid compressibility in switch-mode hydraulic circuits. – Part I: Modeling and analysis. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 135(2), 021013-021013-13 (2012), doi: 10.1115/1.4023062.
25. Van de Ven, J.D.: On Fluid Compressibility in switch-mode hydraulic circuits. Part II: Modeling and analysis. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 135(2), 021014-021014-7 (2012), doi: 10.1115/1.4023063.
26. Altare, G., Rundo, M. Computational Fluid Dynamics Analysis of Gerotor Lubricating Pumps at High-Speed: Geometric Features Influencing the Filling Capability. *Journal of Fluids Engineering* 38(11), FE-15-1757 (2016), doi: 10.1115/1.4033675.
27. Gamez-Montero, P. J., Garcia-Vilchez, M., Raush, G., Freire, J., Codina, E.: Teeth Clearance and Relief Grooves Effects in a Trochoidal-Gear Pump Using New Modules of GeroLAB. *Journal of Mechanical Design* 134(5), 054502-7 (2012), doi:10.1115/1.4006440.
28. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А., Нестеренко К. В. Вплив конструктивних особливостей системи роторів планетарного гідромотору на зміну його вихідних характеристик. *Праці ТДАТУ. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. Вип. 21, т. 4. С. 61–77. doi:10.31388/2078-0877-2021-21-2-61-77*
29. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А. Вплив конструктивних особливостей розподільної системи планетарного гідромотору на зміну його функціональних параметрів. *Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь : ТДАТУ, 2022. Вип. 12. Т. 1. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-1-1*
30. Panchenko, A., Voloshina, A., Boltianska, N., Pashchenko, V., Volkov, S. Manufacturing Error of the Toothed Profile of Rotors for an Orbital Hydraulic Motor. *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham 2022, pp 22–32. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_3

Стаття надійшла до редакції 25.02.2025 р.

A. Panchenko¹, A. Voloshina¹, I. Panchenko¹, I. Kholod¹, A. Voloshin²

¹ *Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University*

² *Melitopol Vocational College of TSATU*

THE INFLUENCE OF THE ERROR OF THE TOOTHED PROFILE OF THE ROTORS OF A PLANETARY HYDRAULIC MOTOR ON ITS TECHNICAL CONDITION

Summary

In modern mechatronic systems of drive of active working bodies of self-propelled machinery, hydraulic machines of the positive displacement principle are increasingly used, namely planetary hydraulic motors, which are a rather complex mechanism with parts that represent a precision connection. Therefore, one of the problems determining the operability of planetary hydraulic machines is the control of the manufacturing accuracy of their rotors. As a result of the conducted research, a dimensional chain was developed that accurately describes the interaction of the toothed profiles of the rotors of the planetary hydraulic motor; a calculation scheme was developed that allows establishing the geometric and functional relationship between the location of the contact points of the toothed profiles of the outer and inner rotors of the planetary hydraulic motor; effective methods and devices for monitoring the manufacturing error of the inner and outer rotors of the planetary hydraulic motor were developed and tested; it was determined that the gap between the rotors (0.02...0.214 mm) is an important parameter characterizing the technical condition of the planetary hydraulic motor; It has been established that the maximum clearance values can be used to standardize the functional parameters that affect the performance of the hydraulic motor, which makes it possible to use the clearance to diagnose the technical condition of hydraulic motors.

Keywords: displacement system, methods and means of control, dimensional chain, form deviations.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-6

УДК 620.95:628.353

О. Г. Скляр¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-1547-5100

Б. В. Болтянський¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-2072-4025

С. В. Сиротюк², канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-9966-6299

С. В. Коробка², канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-4717-509X

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного²Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОФІЛЬТРІВ У БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

Анотація. У статті розглянуто сучасний стан переробки гнойових стоків у метантенках із біофільтрами, що забезпечують покращене зброджування органічної маси завдяки штучному накопиченню метаноутворювальних мікроорганізмів. Проаналізовано вплив біофільтрів на стабілізацію процесів метаногенезу, розширення діапазону рН і температурних режимів, що сприяє підвищенню ефективності біогазових установок. Визначено основні вимоги до матеріалів біофільтрів та методи їх використання. Досліджено перспективи застосування анаеробних біофільтрів у біогазових технологіях для різних типів органічної сировини.

Ключові слова: біогаз, анаеробне зброджування, метантенк, переробка, органічні відходи, метаногенез.

Постановка проблеми. Розвиток біогазових технологій в Україні є одним із ключових напрямів у сфері відновлюваної енергетики та екологічно безпечної утилізації органічних відходів [1; 2]. Водночас ефективність анаеробного зброджування залишається залежною від низки чинників, зокрема нестабільності процесу метаногенезу, коливань рН-середовища, температурних режимів і низької концентрації метаноутворювальних бактерій у реакторі. Одним із перспективних рішень для оптимізації роботи біогазових установок є використання біофільтрів [3; 4], що сприяють закріпленню мікроорганізмів, підвищенню продуктивності метантенків та зменшенню енергетичних витрат на підтримку процесу.

В Україні біогазові установки часто працюють із сировиною, що має нерівномірний склад (гній великої рогатої худоби, свиней, птахівництва, агропромислові відходи), що ускладнює підтримку оптимальних умов зброджування [5–7]. Крім того, значна частина установок функціонує з недостатнім рівнем автоматизації та енергоефективності. У цьому контексті дослідження використання анаеробних біофільтрів є надзвичайно актуальним, адже вони дають змогу підвищити вихід метану, стабілізувати біохімічні процеси та знизити потребу в зовнішньому підігріві субстрату.

Наукове обґрунтування ефективності біофільтрів у біогазових установках є важливим завданням для України, де питання енергетичної незалежності, ефективного поводження з органічними відходами та зниження викидів парникових газів є стратегічно важливими. Упровадження біофільтраційних систем у біогазову інфраструктуру може значно покращити конкурентоспроможність галузі та сприяти її інтеграції до європейського енергетичного простору.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження у сфері біогазових технологій із застосуванням біофільтрів зосереджені на підвищенні ефективності анаеробного зброджування, стабілізації процесів метаногенезу та оптимізації очищення стічних вод [8; 9]. Значна увага



приділяється використанню біофільтраційних систем для покращення утримання метаноутворювальних мікроорганізмів, що дає змогу підвищити вихід біогазу та розширити діапазон робочих параметрів збродження [10].

Дослідження спрямовані на визначення впливу конструктивних особливостей біофільтрів, вибору матеріалів для їх наповнення та інтеграції таких систем у роботу метантенків. Окремо розглядається питання автоматизації та контролю параметрів біофільтраційних установок для підвищення їх продуктивності та економічної доцільності [11; 12].

Сучасні наукові праці демонструють перспективність використання біофільтрів для покращення ефективності біогазових установок, особливо при роботі з різними видами органічної сировини, як-от агропромислові відходи, гній, пташиний послід та харчові відходи [13; 14]. Упровадження таких технологій сприяє зменшенню енергетичних витрат на підтримання процесу та підвищенню стабільності роботи біогазових станцій [15–17].

Формулювання мети статті. Мета статті – проаналізувати й обґрунтувати ефективність використання біофільтрів у біогазових установках для покращення процесів анаеробного збродження органічних відходів. Дослідження спрямоване на вивчення впливу біофільтраційних систем на стабільність метаногенезу, підвищення продуктивності метантенків та оптимізацію технологічних параметрів збродження.

Основна частина. Одним із напрямів покращення анаеробної переробки гнойових стоків є використання біофільтрів, які сприяють тривалому утриманню метаноутворювальних мікроорганізмів у робочій камері метантенка. Це дає змогу адаптувати систему до різних типів субстратів, зокрема висококонцентрованих органічних відходів, як-от свинячий гній, гній великої рогатої худоби та пташиний послід, а також менш насичених органічними речовинами, наприклад, відходів агропереробної та харчової промисловості [17; 18].

Штучне накопичення метаноутворювальних мікроорганізмів у метантенку має на меті розширення рН, температурного оптимуму, подовження терміну дії біофільтра [19; 20].

Усі методи акумулювання метаноутворювальних мікроорганізмів, включно з біофільтрами, повинні відповідати низці важливих вимог:

- мінімізувати або повністю усувати контакт мікроорганізмів із токсичними речовинами, а також захищати їх від негативного впливу температурних й осмотичних стресів;
- забезпечувати надійне закріплення мікроорганізмів на носії, щоб запобігти їх вимиванню з біофільтра;
- гарантувати високу експлуатаційну стабільність біокатализаторів, що визначається механічною, хімічною та біологічною стійкістю біофільтра у відповідних технологічних умовах;
- сприяти ефективному накопиченню мікроорганізмів необхідними поживними речовинами та своєчасному виведенню продуктів їхньої життєдіяльності;
- не створювати значних дифузійних перешкод для масообмінних процесів, що забезпечують стабільне функціонування системи;
- бути економічно доцільними, тобто мати невисоку вартість та доступність вихідних матеріалів для іммобілізації клітин мікроорганізмів.

Одним із методів інтенсифікації процесу збродження біомаси є система анаеробного біофільтра (рис. 1), що ґрунтується на здатності адсорбуватися на відповідних розвинених поверхнях [21].

Оскільки явище адсорбції мікроорганізмів та обростання постійні в природі, то засновані на цьому методи не є новими. Новизна здебільшого полягає в застосуванні матеріалів, яких немає в природі, як правило, різних полімерів. Ступінь закріплення метаноутворювальних мікроорганізмів часто залежить не стільки від полімерного адсорбенту, скільки від його форми. Основні труднощі під час використання фізичних методів накопичення мікроорганізмів виникають

у забезпеченні достатньої пористості одержуваного матеріалу, оскільки адсорбовані на носії біофільтра мікроорганізми виділяють продукти життєдіяльності, які забивають пори та створюють труднощі для доступу продукту, що переробляється [22; 23].

Накопичені на гранульованих адсорбентах метаногенні мікроорганізми застосовують у реакторах, що отримали назву анаеробних фільтрів (біофільтрів). Останнім часом проявляється великий інтерес до анаеробних біофільтрів, дослідження і застосування їх при переробці рідких стоків тваринництва.



Рис. 1. Основні характеристики, переваги та вимоги до анаеробних біофільтрів

Біофільтр є одним з основних елементів коопераційної біогазової установки, де біоплівка утворюється здебільшого з асоціації анаеробних мікроорганізмів, які, розкладаючи органічні речовини, перетворюють їх на метан, водень, вуглекислоту без доступу кисню. Перевагою таких біофільтрів, порівняно з аеробними, є менше споживання електроенергії та отримання біогазу [22; 24].

За конструктивними особливостями та видами застосовуваних матеріалів анаеробні біофільтри поділяють на жорсткі засипні та жорсткі блокові (рис. 2).

Жорсткі засипні біофільтри за конструкцією виготовлення бувають у вигляді кілець, сідел, обрізків труб та інших елементів і призначені для анаеробної переробки слабонасиченої органіки, а як джерело виготовлення можуть бути використані керамічні, сталеві та пластмасові матеріали. Питоме навантаження за БСК для жорстких засипних біофільтрів становить 10–20 кг/м³ (табл. 1) [5; 11].

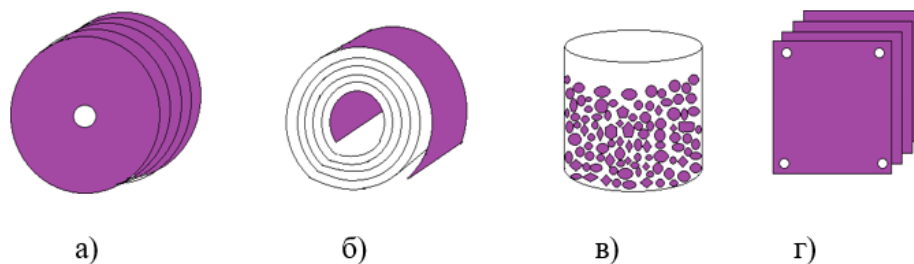


Рис. 2. Конструктивні особливості жорстких анаеробних біофільтрів:
а) дискові; б) рулонні; в) засипні; г) блокові

Таблиця 1

Характеристика насадок для жорстких засипних біофільтрів

№	Найменування насадок та їх габаритні розміри (довжина х ширина х висота), мм	Питома ⁻¹ пористість, м	Вільний обсяг	Еквівалентний діаметр, м	Кількість ³ одиниць у 1 м ³ , шт.	Маса 1 м ³ , кг
1	2	3	4	5	6	7
1.1	Регулярні насадки: Керамічні кільця Рашига 50 x 50 x 5 80 x 80 x 8 100 x 100 x 10	110 80 60	0,735 0,72 0,72	0,027 0,036 0,048	8500 2200 1050	650 670 670
2.1	Безладні засипні насадки: Керамічні кільця Рашига 10 x 10 x 1,5 15 x 15 x 2 25 x 25 x 3 35 x 35 x 4 50 x 50 x 5	440 330 200 140 90	0,7 0,7 0,74 0,78 0,785	0,006 0,009 0,015 0,022 0,035	700000 220000 50000 18000 6000	700 690 530 530 530
2.2	Стальні кільця Рашига 10 x 10 x 0,5 15 x 15 x 0,5 25 x 25 x 0,8 50 x 50 x 1,0	500 350 220 110	0,88 0,92 0,92 0,95	0,007 0,012 0,017 0,035	770000 240000 55000 7000	960 660 640 430
2.3	Керамічні кільця Паля 25 x 25 x 3 35 x 35 x 4 50 x 50 x 5 60 x 60 x 6	220 165 120 96	0,74 0,76 0,78 0,79	0,014 0,013 0,026 0,033	46000 18500 5800 3350	610 540 520 520
2.4	Сталеві кільця Паля 15 x 15 x 0,4 25 x 25 x 0,6 35 x 35 x 0,8 50 x 50 x 1,0	380 235 170 103	0,9 0,9 0,9 0,9	0,01 0,015 0,021 0,033	230000 52000 18200 6400	525 490 455 415
2.5	Керамічні сидла Берля 12,5 25 38	460 260 165	0,68 0,69 0,7	0,06 0,011 0,017	570000 78000 30500	720 670 670



Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
2.6	Керамічні кільця «ІНТОЛОКС»					
	12,5	675	0,78	0,005	780000	545
	19	335	0,77	0,009	229000	560
	25	255	0,775	0,012	84000	545
	38	195	0,81	0,017	25000	480
	50	118	0,79	0,027	9350	530

Жорсткі блокові у вигляді решіток, блоків, зібраних листів і м'які блокові або рулонні (табл. 2) – можуть бути використані пластмас (полівінілхлорид), поліетилен, азбестоцемент, кераміка, піноскло, металева сітка, синтетичні тканини (капрон, нейлон) та інші матеріали.

Наприклад, фірма «СЖН» (Франція) широко рекламує очищення тваринницьких стоків шляхом анаеробного бродіння, що ґрунтується на використанні фіксованих мікроорганізмів на пластиковому носії довільного наповнення, а також біофільтр-метантенк із наповнювачем у вигляді пористих утворень чи довгих вертикальних трубок із наскрізними паралельними каналами. Біофільтр-метантенк складається з двох вертикальних ємностей, з'єднаних між собою і забезпечених патрубками для вивантаження й подання вихідного збродженого субстрату та відведення біогазу, у верхній і нижній частині якої шарами закріплений матеріал, що фіксує біоплівку. Недоліком цієї технології є форма пристрою біофільтра, звідси низька ефективність процесу очищення стоків через малу питому площу накопичувального матеріалу й малу поверхню контакту стоків, що очищаються [22].

Таблиця 2

Характеристика насадок для жорстких блокових, м'яких блокових і рулонних біофільтрів

№	Найменування насадок та їхні габаритні розміри	Питома пористість, м ³	Вільний об'єм	Маса 1 м ³ кг	Питома навантаження по БСК, кг/м ³ · доб.	Ступінь очищення, відс.
1	Пластмасова решітка (полівінілхлорид) 50 x 50 x 40 x 22 (мм)	105	0,9	120	10-12 3,5	50-60 88-98,5
2	Гофровані листи (поліетилен) 500 x 500 x 60 (мм)	80	0,96	40	8-9	понад 50
3	Гофровані азбестоцементні листи 1,75 x 1,3 (мм)	56	0,8	250	до 20	60-80
4	Керамзит, 40-70 мм	120	0,73	500	9-13	60-70
5	Блоки піноскла 0,45 x 0,45 x 0,12 м 2-18 мм	до 150	-	-	до 13	до 90
6	Металеві сітки (шарами або рулонами) 98 см	-	0,94	60	1,2	66-95
7	Синтетичні тканини (капрон, нейлон на металевих стрижнях)	80 85	0,94 0,94	15 35	-	-
8	Пластмасові плівки (рулон на металевих стрижнях)	100 40-50	0,94 0,94	60 6	1,50 1,05	90-92 90-92



Останнім часом для очищення стоків тваринницьких комплексів анаеробні біофільтри застосовують у Японії, де як наповнювач здебільшого використовують природне каміння, що містить карбонат магнію. Для очищення тваринницьких висококонцентрованих стоків застосовують багатоступеневі біофільтри з використанням високоактивних анаеробних мікроорганізмів. Застосування анаеробних біофільтрів практикують і в США, особливо під час очищення змішаних стоків (побутових, промислових і тваринницьких стоків). Як наповнювач у біофільтри використовують пластмасові блоки типу «Полігрід», «Доупак», «Флоркор» розміром 0,9 x 0,52 x 0,36 м, висота шару 7–16 м.

Порівняння роботи біофільтрів із завантаженням із пластмаси та доменного шлаку показало, що ефект очищення становив 82 % і 62 % відповідно. У сільській місцевості в США для очищення концентрованих стоків використовують солом'яні мати, рисове лушпиння, які є доволі стійкими до забруднень і сприяють гарному розвитку та утриманню анаеробних мікроорганізмів у метантенку [25].

У Німеччині проведено випробування анаеробного фільтра, призначеного для очищення промислових і побутових стічних вод, у яких як накопичувальний матеріал використовують відходи бурого вугілля у вигляді нерухомого й псевдорухомого шару. Надлишкову біоплівку, що утворюється, визначають за різницею щільності [22].

У Польщі розроблено метод двоступеневого очищення концентрованих стоків. Згідно із цією технологією спочатку проводять анаеробне зброджування в біофільтрі в термофільному режимі (50–55 °C) протягом 4–6 діб, а потім обробку стоків здійснюють в аеробному фільтрі, також у термофільному режимі. Процес ведуть до повного очищення стоків. Отриманий біогаз використовують для підтримання теплового балансу установки. Тверду масу використовують як добриво [13].

Дослідження, проведені зарубіжними фахівцями з визначення окислювальної здатності заглибних біофільтрів різної конструкції, показали, що ці біофільтри можна рекомендувати для очищення невеликих кількостей висококонцентрованих стоків від промислових підприємств і сільськогосподарських об'єктів. Ефект зниження органічного забруднення в цих біофільтрах залежить від тривалості контакту стічної рідини з біоплівкою, тобто швидкості руху рідини, також від ступеня її забруднення. Також дослідження в галузі застосування дискових обертових біофільтрів для очищення стічних вод практикують у Японії. У Німеччині розроблено обертовий порожнистий спіральний біофільтр, що обертається, для фізико-хімічного й біологічного очищення стічної води, зокрема, біофільтр із зовнішньою та внутрішньою поверхнями для росту відповідних мікроорганізмів, а в США – обертовий барабанний біофільтр жорсткого виконання, усередині наповнений носіями мікроорганізмів [7; 8].

Під впливом метаногенного консорціуму мікроорганізмів відбувається значне зниження вмісту органічних забруднень у відходах та стічних водах, супроводжуване утворенням біогазу. Отриманий біогаз може бути використаний як джерело енергії або як вуглецевий субстрат для синтезу кормової біомаси. Використання метаногенезу із застосуванням біофільтрів у процесі зброджування органічних відходів сьогодні розглядається як один із найефективніших підходів до комплексного вирішення екологічних та енергетичних викликів.

Можна сформулювати такі перспективи використання біофільтрів у біогазових установках:

1. *Оптимізація процесу метаногенезу.* Застосування біофільтрів у біогазових установках сприяє створенню сприятливих умов для розвитку метаноутворювальних мікроорганізмів. Біофільтраційні системи забезпечують збільшену площу адгезії для бактерій, що стабілізує процес анаеробного зброджування та знижує ризик інгібування через різкі зміни параметрів середовища. Завдяки цьому можливе підвищення виходу біогазу та скорочення часу зброджування органічної сировини.



2. *Підвищення енергоефективності біогазових станцій.* Однією з ключових переваг використання біофільтрів є зниження потреби в частому перемішуванні субстрату, що дає змогу зменшити енергетичні витрати установки. Біофільтри також сприяють підтриманню стабільної температури в метантенках, що особливо важливо для термофільного режиму зброджування, який забезпечує максимальну продуктивність процесу.

3. *Розширення спектра сировини для зброджування.* Традиційні біогазові установки часто стикаються з труднощами при переробці високоцелюлозної або жирної сировини. Біофільтри дають змогу значно розширити спектр сировини завдяки більш ефективному розкладанню органічних речовин та їх поступовому засвоєнню бактеріями. Це дає змогу використовувати аграрні залишки, птишиний послід, харчові відходи та інші складноокиснювані органічні матеріали.

4. *Екологічні переваги та зменшення шкідливих викидів.* Біофільтри сприяють зменшенню викидів сірководню (H_2S) та інших шкідливих газів, що робить біогаз більш придатним для використання в енергетичних цілях. Додатково відбувається ефективне очищення залишкових стічних вод, що дає змогу зменшити забруднення навколишнього середовища та підвищити рівень екологічної безпеки біогазових станцій.

5. *Тривалість експлуатації та зменшення експлуатаційних витрат.* Використання біофільтрів продовжує термін служби метантенків і зменшує потребу в очищенні обладнання. Завдяки створенню біоплівки на поверхні фільтраційних матеріалів знижується ризик утворення осадів та закупорювання системи, що сприяє більш ефективній і тривалій експлуатації установок без потреби в частих ремонтних роботах.

6. *Перспективи інтеграції біофільтрів у промислові та муніципальні біогазові проекти.* Біофільтри мають широкий спектр застосування не лише в аграрному секторі, а й у харчовій, фармацевтичній та комунальній сферах. Використання таких систем дає змогу покращити якість біогазу та зробити його придатним для очищення до біометану з подальшим поданням у газорозподільну мережу.

Висновки. Використання біофільтрів у біогазових установках сприяє покращенню продуктивності процесу анаеробного зброджування, зменшенню експлуатаційних витрат, розширенню сировинної бази та зниженню екологічного навантаження. Упровадження біофільтраційних технологій у біогазові комплекси України може стати одним із ключових напрямів удосконалення біоенергетики та сприяти енергетичній незалежності країни.

Список використаних джерел

1. G.G. Geletukha, T.A. Zheliezna, S.V. Drahnev, P.P. Kucheruk. Prospects for the production of advanced biofuels in Ukraine. *Energy Technol. Resour. Sav.* 2023. 76 (3). С. 71–82. <https://doi.org/10.33070/etars.3.2023.06>
2. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б. В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
3. Ningsih, L. M., Hasanudin, U., Roubík, H. (2024). The Use of Biofilter in Anaerobic Baffled Reactor to Improve Quality of Methane Concentration and Effluent as Liquid Organic Fertiliser. *Journal of Ecological Engineering*, 25(9), 226–234. <https://doi.org/10.12911/22998993/191261>
4. Roy Posmanik, Amit Gross, Ali Nejdat. Effect of high ammonia loads emitted from poultry-manure digestion on nitrification activity and nitrifier-community structure in a compost biofilter. *Ecological Engineering*. Volume 62, 2014. P. 140–147. ISSN 0925-8574. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.033>.
5. Біотехнологія відходів тваринницьких підприємств : монографія / Захаренко М. О. та ін. Київ, 2015. 380 с.
6. Болтянський, Б., Сиротюк, С., Коробка, С., Стукалець, І. Аналіз методів удосконалення процесу переробки органічних відходів тваринництва у метантенках. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 2024, 14(1). <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-6>



7. Di Trapani, D., Christensso, M. and Odegaard, H. Hybrid activated sludge/biofilm process for the treatment of municipal wastewater in a cold climate region: A case study. *Water Sci. Technol.* 2011. Vol. 63. P. 1121–1129.
8. Murto, M., Björnsson, L. and Mattiasson, B. Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. *Journal of Environmental Management*. 2004. Vol. 70, Issue 2. P. 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.11.001>
9. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2008. 117 с.
10. Xiao, G. Y. and Ganczarczyk, J.. Structural features of biomass in a hybrid MBBR reactor. *Environ. Technol.* 2006. Vol. 27. P. 289–298. <https://doi.org/10.1080/09593332708618643>
11. Куріс Ю. В. Біоенергетичні установки. Обладнання та технології переробки органічних енергоресурсів: підручн. [для наук, інжен.-техн. прац. та фахівців з альтерн. джерел енергії, як навч. посібн. для студ. вищих навч. закл.]. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 348 с.
12. Komar A. S. Methodological approaches to the optimization of machine technologies of animal waste disposal. *Scientific research in the modern world. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference.* Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023. Pp. 194–198.
13. Комар А. С. Шляхи підвищення якості виробництва біодобрив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 2024, 14(2). <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-2>
14. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. «Multidisciplinary research»*. Bilbao, Spain 2020. Pp. 431–433.
15. Скляр О. Г., Комар А. С. Теоретичні аспекти моделювання машинної технології утилізації органічних відходів. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 1. С. 104–114. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-104-115.
16. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16. No2, b. Pp. 183–188.
17. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. № 3. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-3.
18. Акулов В. Д. Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання*. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24. Т. 2. С. 27–36. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-3.
19. Комар А. С. Удосконалення конструкції біогазової установки з рекуперацією теплоти зброженої біомаси. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання*. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24. Т. 3. С. 62–70. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-5.
20. Скляр Р. В. Аналіз методів визначення часу перебування та навантаження на метантенк. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2014. Вип. 148. С. 405–412.
21. Скляр Р. В. Методи інтенсифікації процесів метанового збродження. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2014. Вип. 4, т. 1. С. 3–9. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf4t1/3.pdf>
22. Gerardo Buelna, Rino Dubé, Nicolas Turgeon. Pig manure treatment by organic bed biofiltration. *Desalination*. Volume 231. Issues 1–3, 2008. P. 297–304, ISSN 0011-9164. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.11.049>
23. Болтянський Б. В. Аспекти вдосконалення технології виробництва біогазу. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання*. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24. Т. 1. С. 89–100. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-6.
24. Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Rome. 2021. Pp. 171–176.
25. Скляр Р. В. Основні принципи побудови та аналіз математичних моделей технологічних процесів. *«Молодь і технічний прогрес в АПК»*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків : ХНТУСГ. 2021. С. 263–266.

Стаття надійшла до редакції 20.02.2025 р.



O. Skliar¹, R. Skliar¹, B. Boltianskyi¹, S. Syrotyuk², S. Korobka²

¹Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

²Lviv National Stepan Gzhytsky University of Veterinary Medicine and Biotechnology

PROSPECTS FOR THE USE OF BIOFILTERS IN BIOGAS PLANTS

Summary

The article deals with the current state of manure wastewater processing in digesters with biofilters that provide improved fermentation of organic matter due to the artificial accumulation of methane-forming microorganisms. The influence of biofilters on the stabilization of methanogenesis processes, expansion of the pH range and temperature conditions, which contributes to the efficiency of biogas plants, is analyzed. The basic requirements for biofilter materials and methods of their use are determined. A biofilter is one of the main elements of a cooperative biogas plant, where a biofilm is formed mainly from an association of anaerobic microorganisms that decompose organic matter and convert it into methane, hydrogen, and carbon dioxide without oxygen. The advantage of such biofilters, compared to aerobic ones, is lower electricity consumption and biogas production. The prospects for the use of anaerobic biofilters in biogas technologies for different types of organic raw materials are investigated. The prospects for the use of biofilters in biogas plants are considered: creating favorable conditions for the development of methane-forming microorganisms, increasing the energy efficiency of biogas plants, expanding the range of raw materials for fermentation, environmental benefits and reducing harmful emissions, extending the life of digesters and reducing the need for equipment cleaning, the possibility of integrating biofilters into industrial and municipal biogas projects. The use of biofilters in biogas plants helps to improve the performance of the anaerobic digestion process, reduce operating costs, expand the raw material base, and reduce the environmental burden. The introduction of biofiltration technologies into biogas complexes in Ukraine can become one of the key areas for improving bioenergy and contribute to the country's energy independence.

Keywords: biogas, anaerobic digestion, digester, processing, organic waste, methanogenesis.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-7

УДК 631.313.6

С. П. Степаненко¹, д-р техн. наукБ. І. Котов², д-р техн. наукД. А. Волик¹, аспірантВ. А. Мельник¹, аспірант

ORCID: 0000-0002-8331-4632

ORCID: 0000-0001-6369-3025

ORCID: 0009-0001-1979-861X

ORCID: 0009-0006-2383-9572

¹ Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

e-mail: stepanenko_s@ukr.net

² Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНІВКИ ДЕКОЮ З ПУЛЬСУВАЛЬНИМ ПОВІТРЯНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Анотація. Сучасне агропромислове виробництво України потребує нових, більш ефективних машин для очищення зернового вороху та фракціонування зерна. Більшість зерноочисних машин, які пропонуються промисловістю, працює на основі зворотно-поступального руху решітних станів. Проте продуктивність таких машин значно нижча порівняно з тими, де під решітний стан подається повітряний потік, а в нашому випадку – пульсувальний повітряний потік. Водночас точна траєкторія руху зернового матеріалу безпровальним решето залишається недостатньо вивченою. За частот обертання в межах $n = 600$ об/хв на початковій стадії руху зернини по решету вона спочатку здійснює синусоїдальний рух, який потім переходить у експоненціальне підвищення. На основі проведених розрахунків встановлено, що за низької частоти обертання час перебування зернового матеріалу на решеті скорочується, а за максимальної – збільшується через малу відстань між вершинами синусоїди, що підвищує імовірність рекомбінації зернівок за висотою шару матеріалу на поверхні безпровального решета. Зміна кута нахилу відносно поздовжньої осі решета також сприяє збільшенню пропускної здатності та покращенню якості розподілу зернового матеріалу.

Ключові слова: безпровальне решето, зернина, траєкторія, пульсувальне повітряне середовище, післязбиральна обробка.

Постановка проблеми. Післязбиральна обробка та зберігання зерна вимагають значних витрат, пов'язаних із його виробництвом. Найбільш критична ситуація спостерігається в насіннєвій галузі, де забезпеченість господарств машинами для вторинного очищення становить близько 12 % від необхідної [1–3]. Для вирішення цієї проблеми необхідно вдосконалювати технології та технічні засоби, підвищуючи їхню продуктивність із забезпеченням якості. Широке впровадження сучасних перспективних зерноочисних машин сприятиме зменшенню витрат на обробку зерна [2; 3].

Одним із найбільш поширених сепарувальних елементів для вторинного очищення зерна є пробивні та безпровальні решета. Найбільш використовуваними вважаються полотна з прямокутними отворами, які розподіляють насіння за товщиною. Такі решета мають значно вищу питому продуктивність порівняно з решетами з круглими отворами. Однак вони мають і значні недоліки. Сучасні решета та кінематика їхнього руху не сприяють орієнтації частинок зернової суміші відносно отворів. Безпровальне решето в машині діє як вібраційний транспортер, а коливання решітних станів супроводжуються значними динамічними навантаженнями, що спричиняють підвищення рівня вібрації рами і, як наслідок, зниження надійності машин, що збільшує тривалість післязбиральної обробки зерна [4–6].



Машини зі зворотно-поступальними коливаннями решітних станів допомагають знизити динамічні навантаження та зменшити вплив вібрації [5–9]. Тому комбіноване поєднання в сепарувальній системі плоских безпровальних решет, розташованих під кутом, і раціонального режиму коливань решета, разом із підведенням пульсувального повітряного потоку під решето, може підвищити продуктивність зерноочисних машин та збільшити їхню експлуатаційну надійність [6–9].

Теоретичні дослідження вібраційних процесів розпочалися ще на початку минулого століття, проте ці процеси настільки складні та неоднозначні, що немає єдиної математичної моделі, яка б адекватно описувала поведінку матеріалу під впливом вібрації. Історично всі наявні моделі поведінки зернистого матеріалу під дією вібрації можна поділити на дві основні групи. Моделі одиначної частинки розглядають зернистий матеріал як дискретне середовище, де кожна частинка рухається незалежно від інших або взаємодіє з ними мінімально. Моделі суцільного середовища сприймають зернистий матеріал як єдину неперервну масу, що рухається специфічно під впливом коливань [1; 2].

У нашому випадку, коли товщина шару невелика ($h \leq 20d$, де d – діаметр частинки), його можна моделювати за допомогою моделі одиначної частинки [3].

Аналіз літературних джерел. Процесу розділення зерна досліджувала низка закордонних та вітчизняних учених. Зокрема, у роботі [2] приведено модель процесу сепарації посівного матеріалу дрібнонасіньєвих культур на циліндричному комірковому трієрі створено за допомогою STAR-CCM+. Візуалізація процесу залежала від фізико-механічних властивостей зерен, частоти обертання, діаметра трієра та кількості домішок у суміші. Чисельне моделювання дало змогу визначити залежності між продуктивністю сепаратора, умістом домішок і параметрами роботи трієра.

У роботі [4] розглядається, як для підвищення ефективності очищення їстівного соняшнику розроблено очисний пристрій з віброситом. Аналіз з використанням FLUENT-DEM визначив вплив швидкості повітряного потоку, частоти та амплітуди вібрації на очищення. Валідаційні тести підтвердили надійність моделювання й конструкції пристрою з похибкою результатів менш ніж 5 %.

Дослідження [5] показало, що модернізація зернозбирального комбайна додатковим бункером є ефективним рішенням, яке дає змогу одночасно збирати зерно та качани без втрат і зі збереженням якості. Створено дослідний зразок з оновленими компонентами, як-от збільшені отвори в соломотрясі, шнек, очисний вентилятор із ножами тощо. Тестування підтвердило ефективність системи із чистотою качанів 94,4–96,0 %.

Дослідження [7] встановило ключові фактори, що впливають на блокування отворів, зокрема фізико-механічні властивості частинок, конструкцію отворів і параметри шару матеріалу. Для сипких матеріалів біологічного походження, як-от пшениця, гречка, горох і кукурудза, визначено залежності сили зчеплення від вологості, форми та товщини шару. Аналітичні рівняння дають змогу прогнозувати необхідну потужність для розблокування отворів за допомогою систем очищення (щіток, ударних елементів). Отримані результати сприяють оптимізації параметрів очищення для різних типів матеріалів та отворів.

Формулювання мети статті. Розробити та дослідити математичну модель переміщення зернового матеріалу безпровальним решетом з урахуванням впливу пульсувального повітряного потоку, визначити залежності траєкторії руху зерна від частоти обертання решета, а також оцінити вплив додаткових робочих органів і кута нахилу решета на ефективність очищення та фракціонування зернового вороху.

Виклад основного матеріалу. Моделлю систем з вібраційно зміненим тертям є модель плоскої частинки, що розміщена на вібрувальній шорсткій поверхні, розташованій під певним

кутом до горизонту (рис. 1). За відсутності коливань частинка залишається нерухомою відносно поверхні, проте з появою вібрацій на похилій поверхні частинка починає рухатися вниз. Це пояснюється зменшенням тертя в напрямку лінії найбільшого нахилу поверхні [4–8].

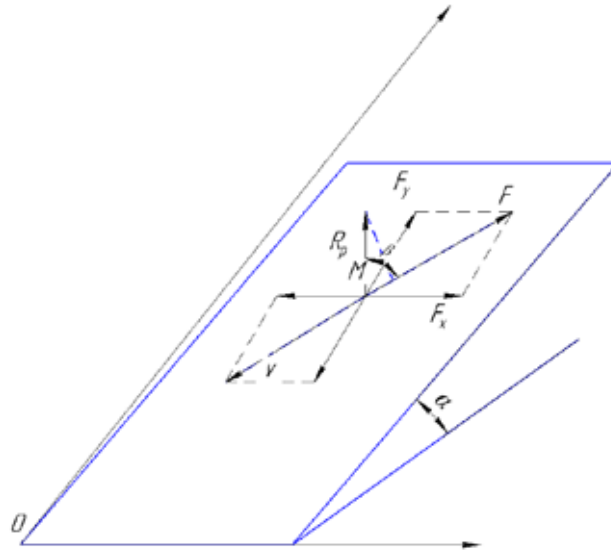


Рис. 1. Розрахункова схема руху зернівки вібрувальною декою при накладеному пульсувальному повітряному середовищі

Розглянемо динаміку частинки, розташованої на похилій шорсткій поверхні. Площина здійснює коливання за законом (рис. 1):

$$\mu = A \sin[\omega t] \quad (1)$$

де A – амплітуда, ω – кутова частота коливань похилої поверхні.

Повітряний потік (пульсувальний) здійснює коливання за законом:

$$\delta = 1 - \sin(\omega_1 \cdot t) \quad (2)$$

де ω_1 – кутова частота коливань повітряного потоку.

Диференціальні рівняння руху частинки записують у такому вигляді [4]:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + mfg \cos(\alpha) \frac{\dot{x}}{\sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2}} = mA\omega^2 \sin[\omega t] + k_p \cdot (V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)])^2 \cos(\beta) \\ \ddot{y} + mfg \cos(\alpha) \frac{\dot{y}}{\sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2}} = mg \sin(\alpha) + k_p \cdot (V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)])^2 \sin(\beta) \\ \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2} \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

де f – коефіцієнт тертя між частинкою та поверхнею;

α – кут нахилу поверхні до горизонту;

 β – кут нахилу сили опору до поверхні;
$$k_p - \text{коефіцієнт вітрильності, } k_p = \frac{g}{V_{\text{втр}}^2} = \xi(Re) \cdot \rho \cdot \frac{S_m}{2 \cdot m} \text{ [3, 5];}$$
 V_{pn} – швидкість повітряного потоку;

g – прискорення вільного падіння.

Проведемо модифікації цієї системи диференціальних рівнянь, поділивши кожен член на добуток $mA\omega^2$.

Тоді система матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\ddot{x}}{A\omega^2} + \frac{fg \cos(\alpha)}{A\omega^2} \frac{\dot{x}}{\sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2}} = \sin[\omega t] + \frac{k_p \cdot (V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)])^2}{A\omega^2} \cos(\beta) \\ \frac{\ddot{y}}{A\omega^2} + \frac{fg \cos(\alpha)}{A\omega^2} \frac{\dot{y}}{\sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2}} = \frac{g}{A\omega^2} \sin(\alpha) + \frac{k_p \cdot (V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)])^2}{A\omega^2} \sin(\beta) \\ \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2} \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Введемо безрозмірні величини:

$$u = \frac{\dot{x}}{A\omega}; \vartheta = \frac{\dot{y}}{A\omega}; \quad (5)$$

$$\dot{u} = \frac{\ddot{x}}{A\omega^2}; \dot{\vartheta} = \frac{\ddot{y}}{A\omega^2}; \quad (6)$$

$$\tau = \omega t; \tau_1 = \omega_1 t; X = \frac{x}{A}; Y = \frac{y}{A}; \quad (7)$$

$$z = \frac{fg \cos(\alpha)}{A\omega^2}; \xi = \frac{\sin(\alpha)}{f \cos(\alpha)} = \frac{\tan(\alpha)}{f}; \mu = \frac{k_p \cdot (V_{pn})^2}{A\omega^2}. \quad (8)$$

з урахуванням яких рівняння (4) набудуть такого вигляду:

$$\begin{cases} \dot{u} + z \frac{u}{\sqrt{u^2 + \vartheta^2}} = \sin[\tau] + \mu [1 - \sin(\tau_1)]^2 \\ \dot{\vartheta} + z \frac{\vartheta}{\sqrt{u^2 + \vartheta^2}} = z\xi + \mu [1 - \sin(\tau_1)]^2 \\ \sqrt{u^2 + \vartheta^2} \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

Безрозмірна система нелінійних диференціальних рівнянь (9) не має точного аналітичного рішення. Вона може бути розв'язана лише чисельними методами. Зернівка при цьому здійснює прямолінійні коливання без відриву в горизонтальній площині. Система (9) розв'язана нами за допомогою програми MathCAD, яка використовує відповідний алгоритм. Як приклад наводимо графіки залежностей безрозмірних швидкостей зернівки по осях x і y від параметра безрозмірного часу, які представлені на рис. 2 – рис. 4.

Як видно з рис. 2, середнє значення безрозмірної швидкості частинки вздовж осі x дорівнює 0, тому вводиться поняття «ефективне значення швидкості» по осі x . Ефективне (дійсне) значення швидкості по осі x – це величина середньої швидкості вздовж цієї осі, яка виконає таку ж роботу, як і розглянута швидкість по осі x за один період:

$$u_e(\tau) = \sqrt{u^2}; \quad (10)$$

де $u_e(\tau)$ – дійсне значення безрозмірної швидкості по осі x ;

u – безрозмірна швидкість частинки вздовж осі x .

Для визначення середнього ефективного значення безрозмірної швидкості по осі x використовується рівняння []:

$$u_{sx} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^\tau [u_{ex}(\tau)]^2 d\tau}; \quad (11)$$

а для розрахунку безрозмірної середньої швидкості по осі y застосовуємо формулу []:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} m = \sum_{i=1}^n F_{xi} \\ \frac{d^2y}{dt^2} m = \sum_{i=1}^n F_{yi} \\ \frac{d^2z}{dt^2} m = \sum_{i=1}^n F_{zi} = 0 \end{cases} \quad (11)$$



Сили, що діють на зернівку в системі координат $Oxyz$, де вісь Oz проходить через вісь електродвигуна, містять такі:

- рушійна сила (F_R): відповідає за переміщення зернівки по безпровальному решету;
- сила опору пульсувального повітряного потоку (F_P): опирається руху зернівки в пульсувальному повітряному середовищі;
- сила тяжіння зернівки (F_G): визначає вагу зернівки, яка діє вертикально вниз;
- сила тертя (F_T): опирається руху зернівки по поверхні решета.

Розглянемо кожну із цих сил окремо.

Рушійна сила. Оскільки вал електродвигуна обертається з постійною кутовою швидкістю ω , то кут повороту кривошипа можна виразити як $\varphi = \omega t$. Відповідно, переміщення зернівки по осях координат можна записати так:

По осі x :

$$x(t) = R \cos[\omega t] \quad (13)$$

По осі y :

$$y(t) = R \sin[\omega t] \quad (14)$$

По осі z (якщо враховувати вертикальне зміщення):

$$z(t) = z_0.$$

де R – радіус кривошипа;

ω – кутова швидкість;

t – час;

z_0 – початкове вертикальне положення зернівки.

Ці рівняння описують траєкторію руху зернівки під дією рушійної сили в системі координат $Oxyz$.

Щоб знайти проєкції переносної швидкості, необхідно продиференціювати переміщення по кожній осі за часом.

$$V_x = -\omega R \sin[\omega t] \quad (15)$$

$$V_y = \omega R \cos[\omega t] \quad (16)$$

Щоб знайти переносні прискорення, потрібно продиференціювати отримані рівняння для швидкостей ще раз за часом.

$$a_x = -\omega^2 R \cos[\omega t] \quad (17)$$

$$a_y = -\omega^2 R \sin[\omega t] \quad (18)$$

На основі отриманих проєкцій переносного прискорення можна записати рівняння рушійної сили в матричній формі:

$$F_R = m \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} -\omega^2 R \cos[\omega t] \\ -\omega^2 R \sin[\omega t] \\ 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

Сила опору пульсувального повітряного потоку (F_P) за аналогією з рушійною силою [11]:

$$F_P = \begin{pmatrix} \xi(Re) \cdot \rho \cdot \frac{S_M}{2 \cdot m} \cdot (V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)])^2 \cdot \cos(\beta) \\ \xi(Re) \cdot \rho \cdot \frac{S_M}{2 \cdot m} \cdot (V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)])^2 \cdot \sin(\beta) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$



де $S_m = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа міделєвого перетину зернівки;

$d = 2 \cdot r$ – діаметр кульової зернівки, м;

ρ – густина повітря, кг/м³;

$\xi(Re)$ – коефіцієнт аеродинамічного опору, який залежить від критерію Рейнольдса $Re = \frac{du}{\nu}$ [20];

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с;

u – швидкість обтікання частинки, м/с.

Сила тяжіння F_G діє вниз вздовж осі Oz, і її величина дорівнює $F_G = mg$, де m – маса зернівки, а g – прискорення вільного падіння. Враховуючи, що сила тяжіння спрямована протилежно осі Oz, можна записати рівняння для цієї сили в матричній формі в такому вигляді:

$$F_G = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix} \quad (21)$$

Сила тертя F_T залежить від нормальної сили й коефіцієнта тертя. Якщо сила тертя діє вздовж поверхні, то її можна виразити як:

$$F_T = \begin{pmatrix} mgf \sin[\omega t] \cos[\alpha] \\ -mgf \cos[\omega t] \sin[\alpha] \\ 0 \end{pmatrix} \quad (22)$$

де f – коефіцієнт тертя зернівки по безпровальному решету.

Двічі інтегруючи рівняння руху по часу (12) з підстановкою формул (13)–(14), можна отримати координати траєкторії руху зернівки в системі координат Oxyz. При цьому інтегрування вираження (12) дасть спочатку швидкість, а потім – положення зернівки:

$$\begin{cases} x(t) = \int \int \frac{F_{Rx} + F_{Px} + F_{Gx} + F_{Tx}}{m} dt dt \\ y(t) = \int \int \frac{F_{Ry} + F_{Py} + F_{Gy} + F_{Ty}}{m} dt dt \end{cases} \quad (23)$$

Для переходу до нової системи координат Oх'y'z', орієнтованої щодо решета, необхідно використовувати матрицю повороту. Якщо система координат Oxyz – це початкова система, а Oх'y'z' – нова система, яка орієнтована відносно старої на певний кут, то перетворення можна виконати за допомогою матриці повороту:

$$M_P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos[\alpha] & \sin[\alpha] \\ 0 & -\sin[\alpha] & \cos[\alpha] \end{pmatrix} \quad (24)$$

У новій системі координат Oх'y'z' сили будуть записані з урахуванням повороту системи координат. Для цього застосуємо ті ж самі матричні перетворення, що й для координат, але тепер до векторів сил. Припустимо, що сили в початковій системі координат Oxyz записані як вектори. Для переходу до нової системи координат Oх'y'z', орієнтованої під кутом α , необхідно використовувати матрицю повороту.

Рушійна сила:

$$F_R^* = F_R M_P \quad (25)$$

Сила тяжіння:

$$F_G^* = F_G M_P \quad (26)$$

Сила опору пульсувального повітряного потоку:

$$F_P^* = F_P M_P \quad (27)$$

Сила тертя:

$$F_T^* = F_T M_p \quad (28)$$

Після дворазового інтегрування виразу (12) по часу з підстановкою формул (25)–(28), можна отримати координати траєкторії зернівки в новій системі координат $Ox'y'z'$, яка прив'язана до решета. Це дасть змогу описати рух зернівки відносно решета, враховуючи всі сили та обертові моменти.

$$\begin{cases} x^*(t) = \int \int \frac{F_{Rx}^* + F_{Px}^* + F_{Gx}^* + F_{Tx}^*}{m} dt dt \\ y^*(t) = \int \int \frac{F_{Ry}^* + F_{Py}^* + F_{Gy}^* + F_{Ty}^*}{m} dt dt \end{cases} \quad (29)$$

Під час виконання розрахунків у системі комп'ютерної алгебри Mathcad за рівняннями (23) і (29) були отримані графічні залежності (рис. 5), що ілюструють траєкторію руху зернівки. Відповідно до рівняння (23), основна тенденція графіка вказує на стійке збільшення, тоді як синусоїдальна компонента накладається на цей тренд, вносячи періодичні коливання, що змінюються в певних інтервалах часу.

Графіки представляють траєкторії в площинах x і y , де кожен графік відображає рух, що має плавне підвищення з одночасною синусоїдальною компонентою. Три графіки для кожної з координат (x і y) відрізняються лише значенням щільності насінини, що змінюється у вихідних даних. Для кожної з координат спостерігається подібна загальна тенденція: плавне зростання з періодичними коливаннями. Зі збільшенням щільності насінини траєкторії в обох площинах поступово піднімаються вище, що вказує на вплив цього параметра на рух. Порівняння графіків для координат x та y дає змогу оцінити, як зміна щільності насінини впливає на траєкторії в обох напрямках одночасно.

Висновки. Аналіз літературних джерел та власних досліджень показує, що вихідними величинами процесу безвідривного вібропереміщення частинки є середня безрозмірна швидкість по осі y та середнє ефективне значення швидкості по осі x .

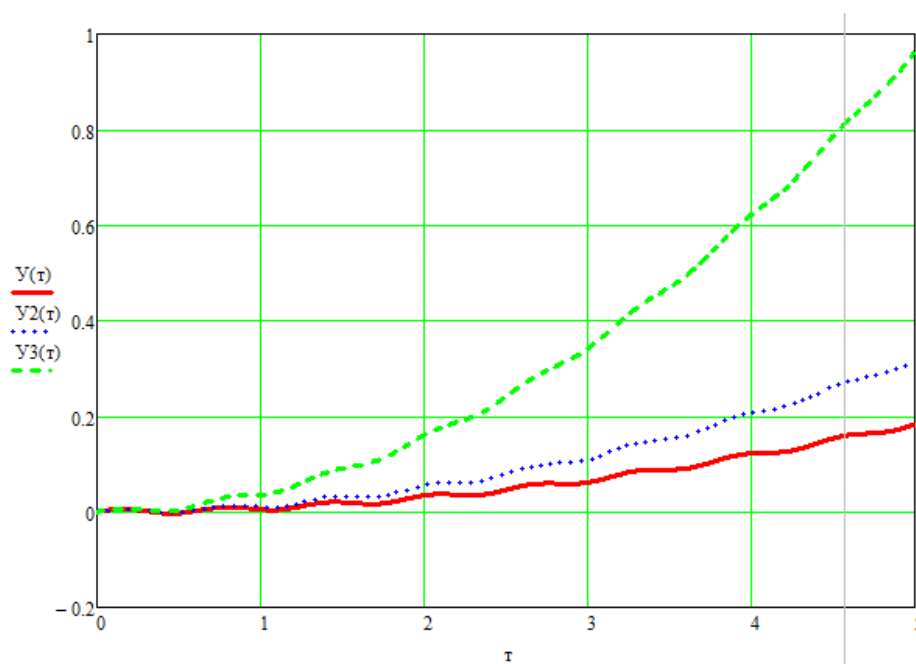


Рис. 2. Переміщення зернівки по решету в системі координат, розташованій у площині решета: 1 – щільність насінини пшениці $\rho=1.8 \text{ г/см}^3$; 2 – щільність насінини пшениці $\rho=1.3 \text{ г/см}^3$; 3 – щільність насінини пшениці $\rho=1.0 \text{ г/см}^3$

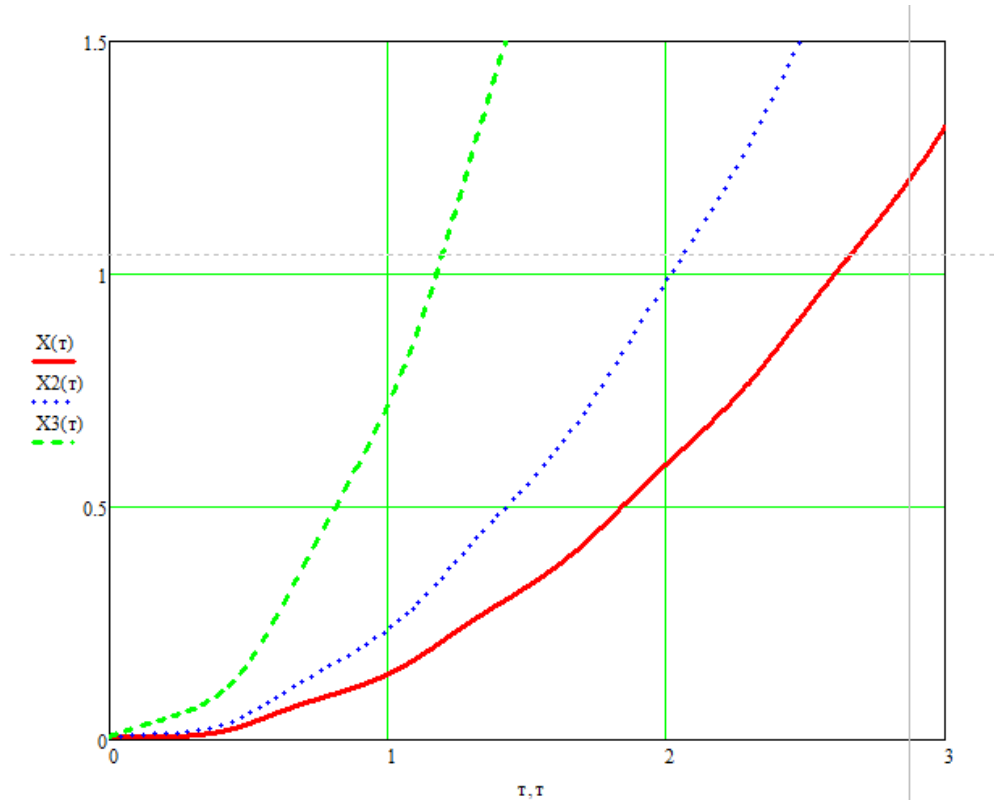


Рис. 3. Переміщення зернівки по решету в системі координат, розташованій у площині решета: 1 – щільність насінини пшениці $\rho=1.8 \text{ г/см}^3$; 2 – щільність насінини пшениці $\rho=1.3 \text{ г/см}^3$; 3 – щільність насінини пшениці $\rho=1.0 \text{ г/см}^3$

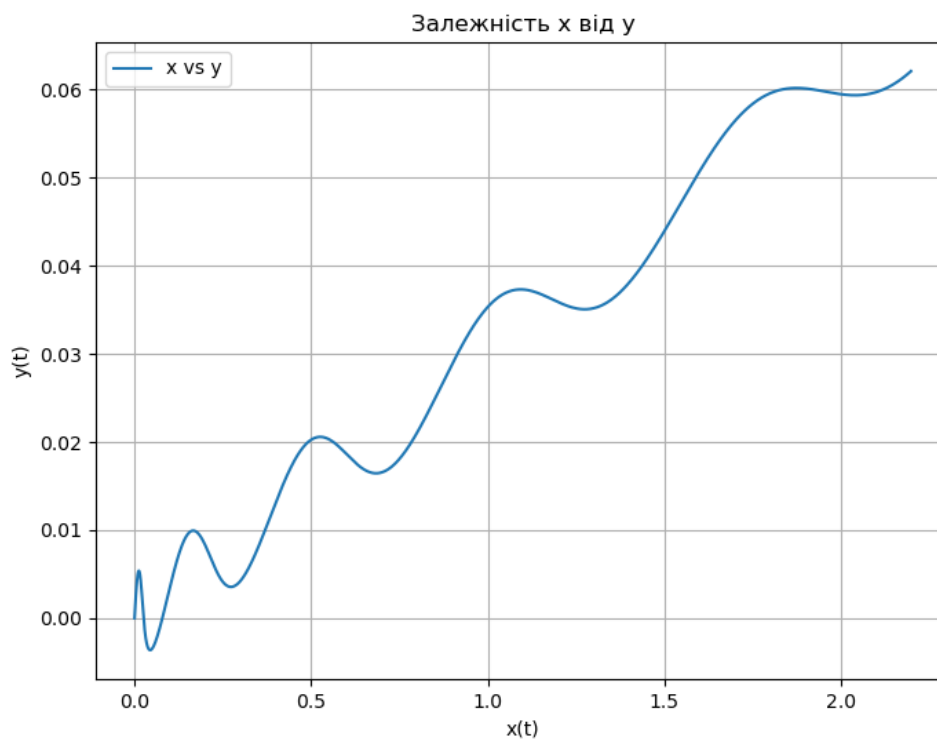


Рис. 4. Траєкторії переміщення зернівки: 1 – при частоті обертання решета 600 об/хв; (10 Гц)



1. При розв'язанні багатокритеріальної задачі оптимізації середньої безрозмірної швидкості частинки по осі y та середнього ефективного значення швидкості по осі x були отримані раціональні параметри ($z = 0,1$ – інтенсивність вібрації; $\varepsilon = 0,9$ – параметр нахилу решета до горизонту), за яких досягаються максимальна продуктивність і максимальне значення просіювання зерна через решето.

2. Отримана математична модель відносного руху частинки по безпровальному решету при взаємодії зі штучним рифом, розташованим під кутом, що здійснює зворотно-поступальні коливання, дає змогу визначити траєкторію руху зернівки.

Установлено, що траєкторія руху зернівки має тенденцію щодо стійкого збільшення, тоді як синусоїдальна компонента накладається на цей тренд, вносячи періодичні коливання, що змінюються в певних інтервалах часу.

3. Така траєкторія підвищує імовірність перерозподілу зернівок за їх густиною на відповідній довжині решета, при цьому їх орієнтація щодо точки вивантаження змінюється в кілька разів швидше, ніж при іншому русі.

Список використаних джерел

1. Моделювання процесу переміщення зернового матеріалу в робочій зоні сепаратора С. П. Степаненко та ін. *Scientific bulletin of the Tavria State Agrotechnological University*. 2024. Т. 14, № 1. URL: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-3>
2. Aliiev E., Lupko K., Kobets O. Development of Adaptive Seed-Separation Trier for Small-Seeded Crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry • Wood Industry • Agricultural Food Engineering*. 2023. P. 103–126. URL: <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.8>
3. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH / A. Nesterenko et al. *Agricultural Engineering*. 2017. No. 53(3). P. 65–70.
4. Design and Experimental Study of a Cleaning Device for Edible Sunflower Harvesting / X. Yang et al. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, no. 8. P. 1344. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture14081344>
5. Design and initial testing of a maize cob collection system / B. Dolšak et al. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2024. Vol. 17, no. 3. P. 108–114. URL: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20241703.8218>
6. Design and Testing of a Pneumatic Grain Aspirator for Efficient Separation of Impurities / P. Greyvensteyn et al. *Proceedings of the 9th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'23)*. 2023. Vol. 141.
7. Design, Fabrication and Performance Evaluation of Wheat Grain Cleaner for Small-Scale Farmers. *Humanitarian and Natural Sciences Journal*. 2024. URL: <https://doi.org/10.53796/hnsj59/2>
8. Determination of Hole Blocking Conditions for Perforated Sifting Surfaces S. Kharchenko et al. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2024. Vol. 18, no. 5. P. 342–360. URL: <https://doi.org/10.12913/22998624/190483>
9. Identification of the Natural Frequencies of Oscillations of Perforated Vibrosurfaces with Holes of Complex Geometry / S. Kharchenko et al. *Materials*. 2023. Vol. 16, no. 17. P. 5735. URL: <https://doi.org/10.3390/ma16175735>
10. Improvement of particle separation performance by new type hydro cyclone / T. Yamamoto et al. *Separation and Purification Technology*. 2016. Vol. 158. P. 223–229. URL: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.12.020>
11. Mathematical modeling of the process of movement of grain material on the surface of a sieve of a vibrating pneumatic pulse separator / S. Stepanenko et al. *Vibrations in engineering and technology*. 2023. No. 3(110). P. 22–34. URL: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2023-3-3>
12. Mathematical model, numerical simulation and optimization of rotating valve feeder in animal feed production / L. Pezo et al. *Animal Feed Science and Technology*. 2020. P. 114741. URL: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114741>
13. Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct / S. Kharchenko et al. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 10. P. 4383. URL: <https://doi.org/10.3390/app11104383>



14. Namdev S., D'souza P., Moses S. Estimation of some physical and mechanical characteristics of Wheat grain at definite moisture content. *Poljoprivredna tehnika*. 2024. Vol. 49, no. 1. P. 23–32. URL: <https://doi.org/10.5937/poljteh2401023k>
15. Performance evaluation of a new cyclone separator – Part II simulation results / W. Xu et al. *Separation and Purification Technology*. 2016. Vol. 160. P. 112–116. URL: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.012>
16. Simulation and experiment of rice cleaning in air-separation device based on DEM-CFD coupling method X. Ma et al. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020. Vol. 13, no. 5. P. 226–233. URL: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201305.5225>
17. Simulation and Optimization Experiment: Working Process of a Cleaning Device for Flax Combine Harvester / F. Dai et al. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, no. 11. P. 2123. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112123>
18. Stepanenko S. P., Volyk D. A. Mathematical Modeling and the Results of Experimental Research of the Process of Density-Based Seed Separation Using Vibro-Pneumatic-Impulse Technology. *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*. 2023. No. 53. P. 138–148. URL: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.138-148>
19. Theoretical Aspects of Grain Separation on an Inertial-gravity Separator Sieve / P. Luzan et al. *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*. 2021. No. 51. P. 95–103. URL: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.95-103>
20. Volyk D. A., Popadyuk I. S., Stepanenko S. P. Analysis of constructions of technical means for separating seeds by density. *MECHANICS and AUTOMATICS of AGROINDUSTRIAL PRODUCTION*. 2023. № 2(116). C. 100–109. URL: <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-2-11>

Стаття надійшла до редакції 10.02.2025 р.

S. Stepanenko¹, B. Kotov², D. Volyk¹, V. Melnyk¹

Institute of Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

NUMERICAL MODELING OF THE PROCESS OF VIBRATIONAL MOVEMENT OF GRAIN ON A DECK WITH A PULSATING AIR ENVIRONMENT

Summary

Modern agro-industrial production in Ukraine requires new, more efficient machines for cleaning grain mixtures and fractionating grain. Most grain cleaning machines offered by the industry operate based on the reciprocating motion of sieve frames. However, the productivity of such machines is significantly lower compared to those that utilize an airflow, particularly a pulsating airflow, beneath the sieve frame. At the same time, the exact trajectory of grain material movement across the air-permeable sieve remains insufficiently studied.

To evaluate the performance of a sieve frame executing reciprocating motion with the combined application of a pulsating airflow, a mathematical model of grain movement across the sieve was developed. Depending on the sieve's rotational frequency, the trajectory may become either shortened or elongated. At rotational frequencies around $n=600$ rpm, during the initial stage of grain movement across the sieve, the grain follows a sinusoidal trajectory that transitions into a smooth exponential rise. Based on the calculations performed, it was established that at lower rotational frequencies, the residence time of the grain material on the sieve decreases, while at maximum frequencies, it increases due to the short distance between the cycloidal cycles, thereby raising the probability of grain kernel recombination along the height of the material layer on the air-permeable sieve surface.

Additionally, during movement, the orientation of the grain relative to the sieve changes significantly faster when additional working elements, such as perforated ridges, are installed, compared to a purely reciprocating motion. Altering the inclination angle relative to the sieve's longitudinal axis further contributes to increased throughput capacity and improved grain material distribution quality.

Keywords: air-permeable sieve, grain kernel, trajectory, pulsating airflow, post-harvest processing.



ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-8

УДК 621.313.3.025.3-78

О. Ю. Вовк, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0154-6972

І. О. Попова, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-5429-8269

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: Oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua, тел: +380986610269

ПОКРАЩЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ СИМЕТРИЧНОГО ТРИФАЗНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ ЖИВИЛЬНИХ НАПРУГ

Анотація. У роботі розглянуто вплив несиметрії живильних напруг джерела на роботу симетричного трифазного навантаження. Установлено, що найгіршим випадком трифазної системи з несиметричним джерелом і симетричним навантаженням є чотирипровідна. Запропоновано для покращення режиму роботи трифазного симетричного навантаження за умови несиметрії живильних напруг включати в лінійні проводи симетрувальні елементи, які не є джерелами. Установлено, що на практиці таке симетрування живильних напруг можна здійснити тільки за найменшим значенням електрорушійної сили джерела. Для такого випадку отримана методика розрахунку комплексів повних опорів симетрувальних елементів.

Ключові слова: трифазна система, несиметричне джерело, напруга зворотної послідовності, симетрувальні елементи.

Постановка проблеми. Головним видом енергії, яку застосовують для роботи різноманітних пристроїв, є електроенергія. Вказані пристрої називають споживачами електроенергії або навантаженнями і розподіляють на дві групи: навантаження постійного струму й навантаження змінного струму [1; 2]. Серед навантажень змінного струму більшість становлять трифазні навантаження, на які припадає близько 40 % електричної енергії, що виробляється у світі [3; 4]. Під час передання електроенергії таким навантаженням у трифазних системах виникають процеси, які призводять до виникнення несиметрії живильних напруг [5]. Причинами, які спричиняють таку несиметрію, є нерівномірний розподіл однофазних навантажень по фазах трифазної системи, вмикання потужних однофазних навантажень, вплив фотоелектричних модулів та зарядних станцій, несправності електрообладнання тощо [6; 7]. Наслідками несиметрії напруг трифазних навантажень є порушення нормальних умов їх роботи, які проявляються в зниженні ефективності роботи, збільшенні споживання електроенергії, додатковому нагріванні тощо [8; 9]. Тому дослідження режиму роботи симетричного трифазного навантаження за несиметрії живильних напруг є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. На сьогодні боротьбі з несиметрією живильних напруг присвячено багато робіт. Одним зі шляхів зниження впливу несиметрії напруг на роботу трифазних навантажень є балансування однофазних навантажень, яке здійснюється шляхом динамічних перемикачів між лінійними проводами трифазної системи. Для цього розробляються певні алгоритми, які враховують конкретні умови роботи навантажень [10; 11]. Вони дають змогу знижувати сили струмів у нейтральних провідниках майже на 90 %, але потребують для свого втілення додаткової контрольної і комутаційної апаратури або симетрувальних трансформа-

торів. Наступним напрямом є застосування пристроїв компенсації реактивної потужності, які допомагають не тільки компенсувати споживання реактивної потужності, а й знижувати дисбаланс напруг по фазах завдяки зменшенню струмів нульової і зворотної послідовностей. Для цього застосовують статичні [12] або динамічні [13] пристрої компенсації, які встановлюють у певних місцях трифазної системи з урахуванням виду й потужності навантажень. Такий підхід застосовують у випадку, коли несиметрія напруг постійно тримається на певному рівні. Для компенсації несиметрії живильних напруг також застосовують динамічні відновники напруги [14], які дають змогу повністю нівелювати несиметрію живильних напруг, але мають значну вартість технічної реалізації. У [15] пропонується система керування живильною напругою навантажень на базі силових тиристорів, яка вирівнює наявні значення напруг по фазах за найменшим значенням напруги, що призводить до певного симетричного провалу напруги і видає на виході напругу, яка має в складі деякі гармонійні складники.

Так, з викладеного випливає, що наявні підходи компенсації несиметрії живильних напруг навантажень, як правило, спрямовані на групу навантажень і мають значну вартість технічної реалізації.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Тому в статті поставлено за мету обґрунтувати спосіб компенсації несиметрії живильних напруг окремого трифазного навантаження, який має просту технічну реалізацію за її незначної вартості. Для цього потрібно розглянути можливі варіанти схем трифазної системи з одним джерелом й одним навантаженням та здійснити їх порівняльний аналіз, за результатами якого дійти висновку про доцільність того чи іншого варіанта.

Основна частина. Розглянемо трифазну систему, яка складається зі з'єднаних між собою несиметричного джерела й симетричного навантаження. Проаналізуємо декілька варіантів роботи такої системи. При цьому приймемо, що значення електрорушійних сил джерела і опорів навантаження є незмінними в усіх варіантах.

Як критерій оцінки режиму роботи навантаження візьмемо його напругу зворотної послідовності. Для аналізу застосуємо символічний (комплексний) метод та метод симетричних складників.

Розглянемо перший варіант роботи трифазної системи – несиметричний режим за трипровідною лінією. Нехай схеми з'єднання джерела й навантаження – зірка, лінія – ідеальна. Для цього режиму розрахункова схема трифазної системи наведена на рис. 1.

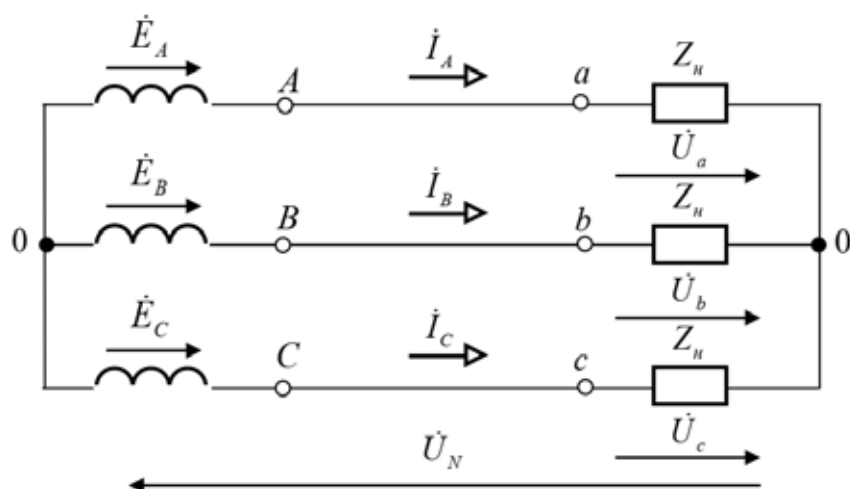


Рис. 1. Розрахункова схема трифазної системи «зірка – зірка» в несиметричному режимі за трипровідною лінією

На розрахунковій схемі (рис. 1) позначено: $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ – комплекси діючих значень електро-рушійних сил джерела; $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ – комплекси дійсних значень струмів кола; $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ – комплекси дійсних значень фазних напруг навантаження; Z_n – комплекс повного опору фази навантаження; $\dot{U}_N$ – комплекс дійсного значення напруги зміщення нейтралі.

У цьому режимі комплекс дійсного значення напруги зміщення нейтралі трифазної системи дорівнює:

$$\dot{U}_N = (\dot{E}_A/Z_n + \dot{E}_B/Z_n + \dot{E}_C/Z_n) / (1/Z_n + 1/Z_n + 1/Z_n). \quad (1)$$

Після перетворень (1) остаточно маємо:

$$\dot{U}_N = (\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) / 3. \quad (2)$$

Комплекси дійсних значень струмів трифазної системи дорівнюють:

$$\dot{I}_A = (\dot{E}_A - \dot{U}_N) / Z_n; \quad \dot{I}_B = (\dot{E}_B - \dot{U}_N) / Z_n; \quad \dot{I}_C = (\dot{E}_C - \dot{U}_N) / Z_n \quad (3)$$

Комплекси дійсних значень фазних напруг навантаження дорівнюють:

$$\dot{U}_a = Z_n \cdot \dot{I}_A; \quad \dot{U}_b = Z_n \cdot \dot{I}_B; \quad \dot{U}_c = Z_n \cdot \dot{I}_C. \quad (4)$$

Після підстановки (3) у (4) і перетворень маємо:

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A - \dot{U}_N; \quad \dot{U}_b = \dot{E}_B - \dot{U}_N; \quad \dot{U}_c = \dot{E}_C - \dot{U}_N. \quad (5)$$

Комплекс дійсного значення напруги зворотної послідовності навантаження дорівнює:

$$\dot{U}_2 = (\dot{U}_a + \dot{U}_b \cdot e^{-j120^\circ} + \dot{U}_c \cdot e^{j120^\circ}) / 3. \quad (6)$$

Прийmemo take: $\dot{E}_A = 160 \cdot e^{j10^\circ} B$; $\dot{E}_B = 260 \cdot e^{-j90^\circ} B$; $\dot{E}_C = 210 \cdot e^{-j250^\circ} B$; $Z_n = 3 \cdot e^{j30^\circ} \text{ Ом} \dots$

Після підстановки вказаних значень у (2), (5), (6) і розрахунків отримуємо: $\dot{U}_N = 35,3 \cdot e^{-j36^\circ} B$; $\dot{U}_a = 46 \cdot e^{-j9^\circ} B$; $\dot{U}_b = 80,3 \cdot e^{-j127^\circ} B$; $\dot{U}_c = 80 \cdot e^{j85^\circ} B$; $\dot{U}_2 = 67,2 \cdot e^{j180^\circ} B$.

Розглянемо другий випадок роботи трифазної системи – несиметричний режим за чотири-провідної лінії. Нехай схеми з'єднання джерела й навантаження – зірка, лінія – чотирипровідна (лінійні проводи – ідеальні, нейтральний провід – реальний). Для цього режиму розрахункова схема трифазної системи схема наведена на рис. 2.

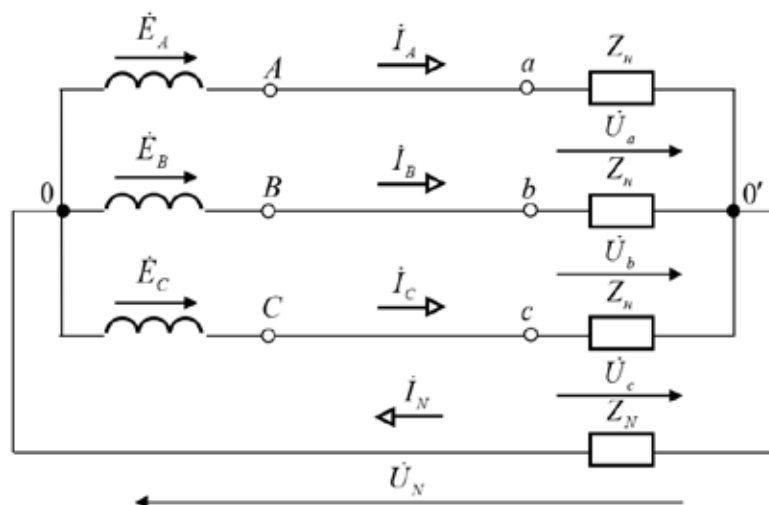


Рис. 2. Розрахункова схема трифазної системи «зірка – зірка» в несиметричному режимі за чотирипровідної лінії

На розрахунковій схемі (рис. 2) додатково, порівняно з рис. 1, позначено: Z_0 – комплекс повного опору нейтралі; $\dot{I}_N$ – комплекс дійсного значення струму нейтралі.

У цьому режимі комплекс дійсного значення напруги зміщення нейтралі трифазної системи дорівнює:

$$\dot{U}_N = (\dot{E}_A/Z_n + \dot{E}_B/Z_n + \dot{E}_C/Z_n) / (1/Z_n + 1/Z_n + 1/Z_n + 1/Z_n). \quad (7)$$

Після перетворень (7) остаточно маємо:

$$\dot{U}_N = \frac{(\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) \cdot Z_N}{3Z_N + Z_n}. \quad (8)$$

Усі інші шукані величини визначаються аналогічно випадку 1 за виразами (5), (6).

Прийmemo take: $Z_N = 0,03 \cdot e^{j15^\circ} \text{ Ом}$; значення інших вихідних величин такі ж, як у випадку 1.

Після підстановки вказаних значень у (8), (5), (6) і розрахунків отримуємо: $\dot{U}_N = 1 \cdot e^{-j51^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_a = 53,1 \cdot e^{-j20^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_b = 86,4 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_c = 70,3 \cdot e^{j80^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_2 = 67,8 \cdot e^{j181^\circ} \text{ В}$.

Розглянемо третій випадок роботи трифазної системи – несиметричний режим при перемиканні навантаження на схему трикутника. Нехай схема з'єднання джерела – зірка, схема з'єднання навантаження – трикутник, лінія – ідеальна трипровідна, у лінію увімкнені струмообмежувальні елементи, які не є джерелом і мають однакові опори. Для цього режиму розрахункова схема трифазної системи наведена на рис. 3.

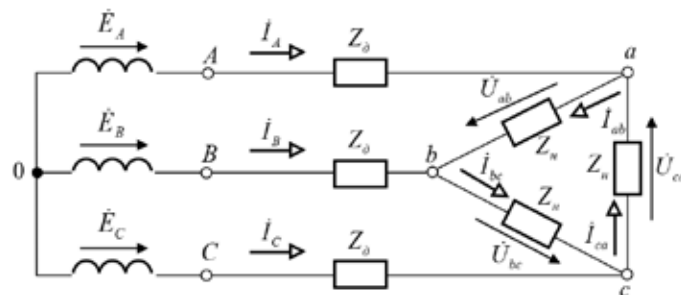


Рис. 3. Розрахункова схема трифазної системи «зірка – трикутник» у несиметричному режимі

На розрахунковій схемі (рис. 3) додатково, порівняно з рис. 1, позначено: Z_0 – комплекс повного опору струмообмежувального елемента; $\dot{U}_{ab}$, $\dot{U}_{bc}$, $\dot{U}_{ca}$ – комплекси дійсних значень фазних (лінійних) напруг навантаження; $\dot{I}_{ab}$, $\dot{I}_{bc}$, $\dot{I}_{ca}$ – комплекси дійсних значень фазних струмів навантаження.

Перетворимо навантаження на схему зірки, тоді наведена на рис. 3 розрахункова схема прийме вид, показаний на рис. 4.

У цій трифазній системі (рис. 4) комплекс дійсного значення напруги зміщення нейтралі визначається за (2). Комплекси дійсних значень струмів дорівнюють:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_N}{Z_0 + Z_n/3}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_N}{Z_0 + Z_n/3}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_N}{Z_0 + Z_n/3}. \quad (9)$$

Комплекси дійсних значень фазних напруг еквівалентного навантаження дорівнюють:

$$\dot{U}_a = (Z_n/3) \cdot \dot{I}_A; \quad \dot{U}_b = (Z_n/3) \cdot \dot{I}_B; \quad \dot{U}_c = (Z_n/3) \cdot \dot{I}_C. \quad (10)$$

Комплекси дійсних значень фазних (лінійних) напруг реального навантаження дорівнюють:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_a - \dot{U}_b; \quad \dot{U}_{bc} = \dot{U}_b - \dot{U}_c; \quad \dot{U}_{ca} = \dot{U}_c - \dot{U}_a. \quad (11)$$

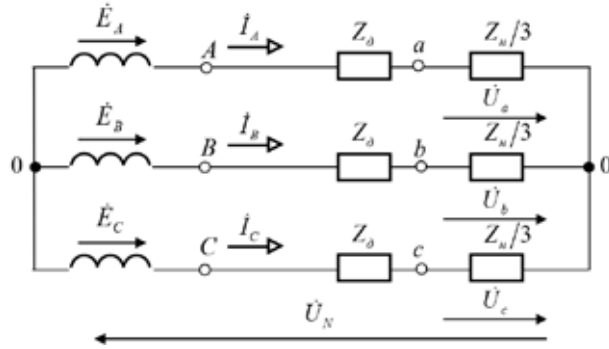


Рис. 4. Еквівалентна розрахункова схема трифазної системи, наведеної на рис. 4

Після підстановки (10) у (11) і перетворень маємо:

$$\dot{U}_{ab} = \frac{Z_n}{3} \cdot (I_A - I_B); \quad \dot{U}_{bc} = \frac{Z_n}{3} \cdot (I_B - I_C); \quad \dot{U}_{ca} = \frac{Z_n}{3} \cdot (I_C - I_A). \quad (12)$$

Після підстановки (9) у (12) і перетворень маємо:

$$\dot{U}_{ab} = \frac{(\dot{E}_A - \dot{E}_B) \cdot Z_n}{3Z_0 + Z_n}; \quad \dot{U}_{bc} = \frac{(\dot{E}_B - \dot{E}_C) \cdot Z_n}{3Z_0 + Z_n}; \quad \dot{U}_{ca} = \frac{(\dot{E}_C - \dot{E}_A) \cdot Z_n}{3Z_0 + Z_n}. \quad (13)$$

Для збереження допустимого значення напруги на затискачах реального навантаження знайдемо опір струмообмежувального елемента з умови:

$$\frac{Z_n}{3Z_0 + Z_n} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot e^{j30^\circ}}. \quad (14)$$

Після перетворень (14) маємо:

$$Z_0 = Z_n \cdot e^{j60^\circ} / 3. \quad (15)$$

Так, якщо опір струмообмежувального елемента буде повністю задовольняти умові (15), то рівняння (13) будуть такими:

$$\dot{U}_{ab} = \frac{\dot{E}_A - \dot{E}_B}{\sqrt{3} \cdot e^{j30^\circ}}; \quad \dot{U}_{bc} = \frac{\dot{E}_B - \dot{E}_C}{\sqrt{3} \cdot e^{j30^\circ}}; \quad \dot{U}_{ca} = \frac{\dot{E}_C - \dot{E}_A}{\sqrt{3} \cdot e^{j30^\circ}}. \quad (16)$$

Комплекс дійсного значення напруги зворотної послідовності реального навантаження дорівнює:

$$\dot{U}_2 = (\dot{U}_{ab} + \dot{U}_{bc} \cdot e^{-j120^\circ} + \dot{U}_{ca} \cdot e^{j120^\circ}) / 3. \quad (17)$$

Прийmemo значення вихідних величин такими ж, як у випадку 1.

Після підстановки вказаних значень у (15) – (17) і розрахунків отримуємо:

$$Z_0 = 1 \cdot e^{j90^\circ} \text{ Ом}; \quad \dot{U}_{ab} = 189,3 \cdot e^{j31^\circ} \text{ В}; \quad \dot{U}_{bc} = 267,3 \cdot e^{-j111^\circ} \text{ В}; \quad \dot{U}_{ca} = 164,7 \cdot e^{j114^\circ} \text{ В}; \quad \dot{U}_2 = 66,9 \cdot e^{j121^\circ} \text{ А}.$$

Розглянемо четвертий випадок роботи трифазної системи – несиметричний режим за трипровідної лінії з симетрувальними елементами. Нехай схема з'єднання джерела – зірка, схема з'єднання навантаження – зірка, лінія – ідеальна трипровідна, у лінію увімкнені симетрувальні елементи, які не є джерелом і мають різні опори. Для цього режиму розрахункова схема трифазної системи наведена на рис. 5.

На розрахунковій схемі (рис. 5) додатково, порівняно з рис. 1, позначено: $Z_{\text{сим}(A)}$, $Z_{\text{сим}(B)}$, $Z_{\text{сим}(C)}$, – комплекси повних опорів симетрувальних елементів.

У цьому режимі комплекс дійсного значення напруги зміщення нейтралі трифазної системи дорівнює:

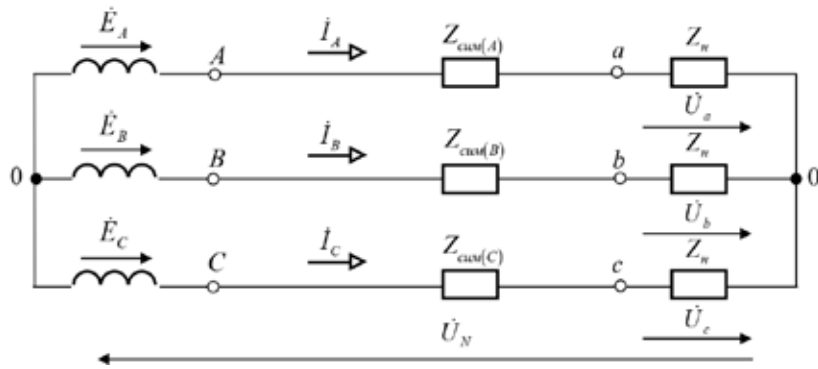


Рис. 5. Розрахункова схема трифазної системи «зірка – зірка» в несиметричному режимі за трипровідної лінії із симетрувальними елементами

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A / (Z_n + Z_{\text{сим}(A)}) + \dot{E}_B / (Z_n + Z_{\text{сим}(B)}) + \dot{E}_C / (Z_n + Z_{\text{сим}(C)})}{1 / (Z_n + Z_{\text{сим}(A)}) + 1 / (Z_n + Z_{\text{сим}(B)}) + 1 / (Z_n + Z_{\text{сим}(C)})}. \quad (18)$$

Припустимо, що до виникнення несиметрії джерела його електрорушійні сили були симетричними й номінальними. Тому для того, щоб комплекси дійсних значень фазних напруг навантаження були такими, як і до виникнення несиметрії джерела, тобто симетричними й номінальними, потрібно, щоб виконувались умови:

$$\dot{E}_A / (Z_n + Z_{\text{сим}(A)}) = \dot{E}_{A(n)} / Z_n; \quad (19)$$

$$\dot{E}_B / (Z_n + Z_{\text{сим}(B)}) = \dot{E}_{B(n)} / Z_n; \quad (20)$$

$$\dot{E}_C / (Z_n + Z_{\text{сим}(C)}) = \dot{E}_{C(n)} / Z_n, \quad (21)$$

де $\dot{E}_{A(n)}$, $\dot{E}_{B(n)}$, $\dot{E}_{C(n)}$ – симетричні номінальні комплекси дійсних значень електрорушійних сил джерела, В.

Після перетворень (19) – (21) отримуємо вирази комплексів повних опорів симетрувальних елементів, за яких комплекси дійсних значень фазних напруг навантаження будуть симетричними й номінальними:

$$Z_{\text{сим}(A)} = (\dot{E}_A / \dot{E}_{A(n)} - 1) \cdot Z_n; \quad (22)$$

$$Z_{\text{сим}(B)} = (\dot{E}_B / \dot{E}_{B(n)} - 1) \cdot Z_n; \quad (23)$$

$$Z_{\text{сим}(C)} = (\dot{E}_C / \dot{E}_{C(n)} - 1) \cdot Z_n. \quad (24)$$

Комплекси дійсних значень струмів кола дорівнюють:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_N}{Z_{\text{сим}(A)} + Z_n}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_N}{Z_{\text{сим}(B)} + Z_n}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_N}{Z_{\text{сим}(C)} + Z_n}. \quad (25)$$

Комплекси дійсних значень фазних напруг навантаження визначаються за (4). Комплекс дійсного значення напруги зворотної послідовності навантаження визначається за (6).

Припустимо таке: $\dot{E}_{A(\text{ном})} = 220 \text{ В}$; $\dot{E}_{B(\text{ном})} = 220 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ В}$; $\dot{E}_{C(\text{ном})} = 220 \cdot e^{-j240^\circ} \text{ В}$; значення інших вихідних величин такі ж, як у випадку 1.

Після підстановки вказаних значень у (22) – (24), (18), (25), (4), (6) і розрахунків отримуємо: $Z_{\text{сим}(A)} = 0,93 \cdot e^{-j174^\circ} \text{ Ом}$; $Z_{\text{сим}(B)} = 1,77 \cdot e^{j118^\circ} \text{ Ом}$; $Z_{\text{сим}(C)} = 0,53 \cdot e^{-j80^\circ} \text{ Ом}$; $\dot{U}_N = 0$; $\dot{U}_a = 220 \text{ В}$; $\dot{U}_b = 220 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ А}$; $\dot{U}_c = 220 \cdot e^{-j240^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_2 = 0$.

На практиці такі значення кутів зсуву фаз симетрувальних елементів у лінійних проводах А-а і В-в, які отримано в результаті розрахунків, неможливо здійснити завдяки активному, індуктивному і ємнісному опорам. Тому розглянемо симетрування напруг навантаження за найменшим значенням електрорушійної сили джерела. Для здійснення такого симетрування потрібно, щоб виконувалися такі умови (для випадку, коли найменше значення електрорушійної сили у фазі А джерела):

$$\dot{E}_A / Z_n = \dot{E}_A / Z_n; \quad (26)$$

$$\dot{E}_B / (Z_n + Z_{\text{сим}(B)}) = (\dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}) / Z_n; \quad (27)$$

$$\dot{E}_C / (Z_n + Z_{\text{сим}(C)}) = (\dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}) / Z_n. \quad (28)$$

Після перетворень (26) – (28) маємо вирази комплексів повних опорів симетрувальних елементів, за яких комплекси дійсних значень фазних напруг навантаження будуть симетричними:

$$Z_{\text{сим}(A)} = 0; \quad Z_{\text{сим}(B)} = \frac{\dot{E}_B - \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}}{\dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}} \cdot Z_n; \quad Z_{\text{сим}(C)} = \frac{\dot{E}_C - \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}}{\dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}} \cdot Z_n. \quad (29)$$

Комплекси дійсних значень струмів визначаються за (25), фазних напруг навантаження – за (4), напруги зворотної послідовності навантаження – за (6).

Якщо підставити вихідні значення з варіанта 1 у (29), (18), (25), (4), (6) і виконати розрахунки, то отримаємо: $Z_{\text{сим}(A)} = 0$; $Z_{\text{сим}(B)} = 7,76 \cdot e^{j58^\circ} \text{ Ом}$; $Z_{\text{сим}(C)} = 1,52 \cdot e^{-j33^\circ} \text{ Ом}$; $\dot{U}_N = 0$; $\dot{U}_a = 160 \cdot e^{j10^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_b = 160 \cdot e^{-j110^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_c = 160 \cdot e^{-j230^\circ} \text{ В}$; $\dot{U}_2 = 0$.

З отриманих у чотирьох випадках результатів розрахунків випливає, що в трифазній системі з несиметричним джерелом і симетричним навантаженням без включення симетрувальних елементів напруги на навантаженні є несиметричними не залежно від схем його з'єднання. Причому в усіх випадках без симетрувальних елементів напруга зворотної послідовності на навантаженні практично однакова. Вона призводить до виникнення струмів зворотної послідовності в навантаженні, які негативно впливають на його роботу. Наприклад, якщо навантаження буде динамічним (електродвигун змінного струму), то під дією таких струмів у ньому виникне гальмівний момент, який перешкоджатиме приведенню в дію робочої машини. Найгіршим з таких випадків є чотирипровідна трифазна система, тому що в ній разом зі струмами зворотної послідовності виникають струми нульової послідовності, які додатково нагрівають навантаження.

При включенні в трифазну систему з несиметричним джерелом і симетричним навантаженням симетрувальних елементів, реалізованих на базі активного й реактивного опорів, виникає можливість вирівнювання напруг по фазах навантаження. Для цього комплекси повних опорів таких елементів мають бути визначені залежно від найменшої електрорушійної сили джерела. Це зумовить симетрування напруг на навантаженні за значенням цієї електрорушійної сили і дасть змогу уникнути струмів зворотної і нульової послідовностей. Запропонований спосіб симетрування напруг трифазного навантаження на відміну від [10–14] є простішим, дешевшим і має індивідуальний характер, а на відміну від [15] забезпечує на фазах навантаження синусоїдні напруги.

Висновки. Так, у роботі доведено, що в трифазній системі з несиметричним джерелом і симетричним навантаженням можна компенсувати дію несиметричної напруги джерела для навантаження. Така компенсація можлива шляхом симетрування напруг навантаження за найменшим значенням електрорушійної сили джерела. Для цього в лінійні проводи потрібно включити

симетрувальні елементи, які не є джерелами і мають активний та реактивний опори. Запропоновано методику визначення комплексів повних опорів таких симетрувальних елементів. Недоліком запропонованого способу є провал напруги на навантаженні при створенні симетричної напруги. Подальші дослідження мають бути спрямовані на встановлення негативних наслідків такого провалу напруги порівняно з несиметрією напруг і на розробку пристроїв, які реалізують плавну зміну опорів симетрувальних елементів у функції живильних напруг.

Список використаних джерел

1. John A. Adebisi, Leokadia N.P. Ndjuluwa. A survey of power-consumption monitoring systems. *E-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 2024, 7, P.100386, <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100386>
2. Попова І.О., Квітка С.О., Вовк О.Ю. Дослідження несиметричного режиму на роботу динамічного індуктивного навантаження / *Праці ТДАТУ*, 2023, 23(1), С.179–187, <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2023-23-1-179-187>
3. Abu Al-Haija, Q. A Stochastic Estimation Framework for Yearly Evolution of Worldwide Electricity Consumption. *Forecasting*, 2021, 3, P. 256–266, <https://doi.org/10.3390/forecast3020016>
4. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Попова І. О., Діордієв В. Т. Збереження роботоздатності трифазного статичного навантаження за неповнофазного живлення. *Праці ТДАТУ*, 2024, 24(1), С. 136–150, <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-10>
5. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С. Контроль витрати ресурсу ізоляції асинхронних електродвигунів при відхиленні напруги живлячої мережі. *Праці ТДАТУ*, 2015, 15(2), С.154–159.
6. Sarath Perera, Sean Elphick. Impact and management of power system voltage unbalance. *Applied Power Quality, Elsevier*, 2023, P. 49–69, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85467-2.00001-9>
7. Z. Olczykowski. Electric Arc Furnaces as a Cause of Current and Voltage Asymmetry. *Energies*, 2021, 14(16), P. 5058, <https://doi.org/10.3390/en14165058>
8. K. Ma, L. Fang, W. Kong. Review of distribution network phase unbalance: Scale, causes, consequences, solutions, and future research directions. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 2020, 6(3), P. 479–488, <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2019.03280>
9. I.C. Torres, G.F. Negreiros, C. Tiba. Theoretical and Experimental Study to Determine Voltage Violation, Reverse Electric Current and Losses in Prosumers Connected to Low-Voltage Power Grid. *Energies*, 2019, 12(23), P. 4568, <https://doi.org/10.3390/en12234568>
10. G. Grigoraş, B-C. Neagu, M. Gavrilăş, I. Triştiu, C. Bulac. Optimal Phase Load Balancing in Low Voltage Distribution Networks Using a Smart Meter Data-Based Algorithm. *Mathematics*, 2020, 8(4), P. 549, <https://doi.org/10.3390/math8040549>
11. O. Pereira, J. Quirós-Tortós, G. Valverde. Phase Rebalancing of Distribution Circuits Dominated by Single-Phase Loads. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2021, 36(6), P. 5333–5344, <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2021.3076629>
12. L.R. de Araujo, D.R.R. Penido, S. Carneiro, J.L.R. Pereira. Optimal unbalanced capacitor placement in distribution systems for voltage control and energy losses minimization. *Electric Power Systems Research*, 2018, 154, P. 110–121, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.08.012>
13. L.Czarnecki, M.Almoussa. Adaptive Balancing by Reactive Compensators of Three-Phase Linear Loads Supplied by Nonsinusoidal Voltage from Four-Wire Lines. *American Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2021, 10(3), P. 32–42, <https://doi.org/10.11648/j.epes.20211003.11>
14. Ogunboyo P.T., Tiako R., Davidson I.E. Application of Dynamic Voltage Restorer for Power Quality Improvement in Low Voltage Electrical Power Distribution Network: An Overview. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 2017, 28, P. 142–156. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.28.142>
15. Y. Li, Y. Gong. Design of Three Phase Load Unbalance Automatic Regulating System for Low Voltage Power Distribution Grids. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 173, P. 02040, <https://doi.org/10.1051/matecconf/201817>

Стаття надійшла до редакції 25.02.2025 р.

**O. Vovk¹, I. Popova¹**¹ *Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University***IMPROVEMENT OF THE OPERATING MODE OF A SYMMETRICAL THREE-PHASE LOAD IN THE EVENT OF ASYMMETRY OF SUPPLY VOLTAGES*****Summary***

The work considers the issue of asymmetry of supply voltages of a symmetrical three-phase load, which arises during its operation due to various reasons that do not depend on it. The consequences of the influence of such asymmetry on the operation of a three-phase load are shown. Existing methods of improving the load operation mode under such conditions are analyzed and it is determined that all of them have a high cost of technical implementation and are not adapted for a separate load. Therefore, the paper considers various types of three-phase system circuits, which include an asymmetrical source and a symmetrical load. The negative sequence voltage is chosen as a criterion for assessing the influence of load voltage asymmetry, for which a calculation method has been developed for various circuit solutions of a three-phase system. It is determined that for any load switching scheme without the use of balancing elements, the effective value of its negative sequence voltage does not change. The worst of these cases is a three-phase four-wire system due to the presence in it not only of negative sequence currents, but also of zero sequence currents. It is proposed to improve the operation of a symmetrical load in conditions of supply voltage asymmetry to include balancing elements that are not sources in linear wires. It is proven that with such balancing of load voltages according to the nominal voltage value, the complexes of impedances of such elements have phase shift angles that cannot be implemented in practice. Therefore, it is proposed to balance the voltages of a three-phase load according to the smallest value of the electromotive force of an asymmetrical three-phase source. For such a condition, a method for calculating the complexes of impedances of balancing elements has been developed. Such elements can be implemented in practice using devices that have active and reactive resistance. They allow to establish symmetrical, but reduced voltages on the phases of a three-phase load. Such balancing is proposed to be performed for a short time for the period of action of an unacceptable voltage asymmetry, if the production conditions of a particular load allow.

Keywords: three-phase system, symmetrical load, asymmetrical source, negative sequence voltage, balancing elements.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-9

УДК 621.311

С. М. Дудніков¹, канд. техн. наук., доц.

ORCID: 0000-0002-0337-0707

С. В. Галько², канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0001-7991-0311

О. О. Мірошник¹, канд. техн. наук, проф.

ORCID: 0000-0002-6144-7573

О. А. Савченко¹ канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0002-6401-0852

Д. М. Зеленков², аспірант

ORCID: 0009-0002-9685-9196

¹ Державний біотехнологічний університет² Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

email: galkosv@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЄДИНУ ЕНЕРГЕТИЧНУ СИСТЕМУ

Анотація. У статті запропоновано використовувати біогазові установки (далі – БГУ) як високогнучкі джерела енергії. При ухваленні рішення про їх використання є прогнозування показників енергоефективності запропонованої системи енергопостачання на основі біогазу порівняно з поточною централізованою моделлю. Показники енергоефективності оцінювалися за допомогою аналізу енергетичних балансів, побудованих з використанням усереднених статистичних даних про втрати та споживання енергії на біогазових об'єктах. Цей підхід рекомендується використовувати на ранніх етапах визначення технічних вимог при побудові або модернізації наявних енергетичних систем. Упровадження БГУ є економічно конкурентоспроможним порівняно із централізованими системами, як-от теплові електростанції та котельні. Інтеграція БГУ допоможе зменшити національну залежність від імпортованої енергії, виправити дисбаланси в енергетичній системі та знизити вартість енергії – електричної, теплової чи хімічної (наприклад, добрив).

Ключові слова: біогазова установка, система енергопостачання, енергетичний баланс, сонячна електростанція, вітрова електростанція, енергоефективність.

Постановка проблеми. На тлі стрімкого зростання виробництва відновлюваної енергії – насамперед від вітрових турбін (далі – ВЕС) та сонячних електростанцій (далі – СЕС) – зростає потреба в збалансуванні їх змінної потужності для забезпечення стабільності роботи [1–4]. Ключовою характеристикою джерел енергії від ВЕС [5] та СЕС [6; 7] є їх залежність від погодних умов, що призводить до нестабільного виробництва енергії. Дослідження показують, що найефективнішим універсальним підходом для збалансування цієї мінливості є вбудована гнучкість в енергетичну систему інших відновлюваних джерел енергії (далі – ВДЕ) (наприклад, БГУ), що дає змогу коригувати виробництво або споживання електроенергії у відповідь на коливання від ВЕС та СЕС.

Аналіз останніх досліджень. Коли великомасштабні ВДЕ інтегруються в енергосистеми, виникають проблеми зі збереженням як статичної, так і динамічної стабільності режимів роботи [8–11]. Наприклад, якщо частка ВДЕ в загальному енергетичному балансі перевищує 2 %, наявним мережам часто не вистачає технічної можливості впоратися з піками генерації та потоку, що вимагає модернізації інфраструктури та модернізації мереж [12–14]. ВДЕ також опосередковано впливають на амортизаційні властивості енергосистем, що призводить до проблем зі стабільністю, зниження запасу стабільності (наприклад, скорочення критичного часу знеструмлення під час коротких замикань) та погіршення якості перехідного процесу (наприклад, збільшення відхилень кута ротора генератора й зменшення демпфування) [9; 15; 25].



Сьогодні, наприклад, розвиток ВЕС передбачає інтеграцію великої кількості вітрогенераторів в енергетичні системи багатьох країн світу. Для того щоб це було ефективним, централізована система енергозабезпечення повинна стати «гнучкою», що вимагатиме вирішення різних значних наукових і технічних проблем. Одним із потенційних варіантів вирішення цього питання є використання БГУ як резервного джерела живлення для вітрових та сонячних електростанцій. Вироблений біогаз, який можна зберігати протягом тривалого часу, потім може бути використаний за потребою споживачів [18].

Перспективи впровадження біогазу в газову систему є дуже перспективними, зокрема в контексті ефективного використання ВДЕ у високоякісному, але енергоємному виробництві виливків в автомобілебудуванні, енергоємних технологіях зберігання зерна [20; 21], що вимагає підтримки з боку промислової статистики [22]. Особливо корисним рішенням може стати об'єднання котелень [23], що працюють на зручному для зберігання біогазі з ефективними, але нестабільними фотоелектричними установками [24], які можуть бути розташовані на рекультивованих забруднених територіях [25]. На жаль, кажучи загалом, у компонентах енергетичних установок, що працюють на біопаливі, необхідно протидіяти дуже сильній корозійній та деградації конструктивних компонентів [27; 28]. Підкреслюється [26], що використання методів комп'ютерного моделювання надає неоціненні можливості для оптимізації процесів управління виробництвом в складних системах, що особливо актуально для виконання завдань балансування ВДЕ.

Формулювання мети статті. Виконати первинні дослідження щодо доцільності впровадження БГУ в централізованій системі енергозабезпечення та обґрунтування її конкурентоспроможності.

Основна частина

1. Перспективи розвитку біоенергетики в Європейському Союзі.

Сучасна політика Європейського Союзу (далі – ЄС) спрямована на утвердження сталого економічного розвитку, який містить соціальний, економічний та екологічний складники [29]. Енергетичне поле є ключем до утвердження цього поняття. Ідея захисту навколишнього середовища та збереження клімату посідає провідне місце в європейській енергетиці. Збільшення кількості ВДЕ, які підтверджують безпеку енергетичної системи, мінімізація використання вугілля у виробництві електроенергії та зменшення шкідливих викидів є одними з основних заходів у процесі сталого енергетичного розвитку. Цей принцип має велике значення для економіки та соціального добробуту країн – членів ЄС.

Поєднання цих принципів утілено в Європейському зеленому курсі. У грудні 2019 року Європейська комісія представила дорожню карту заходів, спрямованих на перехід до кліматично нейтральної економіки. Основною метою цієї стратегії є досягнення нульових викидів вуглекислого газу до 2050 року. Для цього потрібна оптимізація паливно-енергетичного сектору та зменшення залежності від імпортової сировини. Окрім енергетики, реформи також мають стосуватися таких секторів: транспорт, сільське господарство, будівництво, а також харчова та хімічна промисловість. Ключові елементи цієї стратегії проілюстровані на рис. 1.

Країни – члени ЄС зобов'язані впроваджувати «зелену» політику, але для деяких ця стратегія є справжнім викликом. Незважаючи на амбітні цілі, національні енергетичні стратегії країн ЄС залишаються неузгодженими. Більшість європейських країн не мають достатніх природних ресурсів і не можуть швидко зменшити свою залежність від імпорту енергоносіїв. Рівень економічного розвитку також суттєво різниться в різних країнах Європи. Крім того, деякі країни значною мірою покладаються на власне викопне паливо, як-от вугілля, що робить вимушену відмову від цих ресурсів особливо складною при переході до зеленої енергетики. Додаткові перешкоди передбачають застарілу енергетичну інфраструктуру, нестабільне



Рис. 1. Основні цілі Європейського зеленого курсу

виробництво електроенергії та залежність від ВДЕ. Досягнення цих цілей є складним завданням навіть для високорозвинених економік. Відповідно до Договору про функціонування ЄС, кожна держава-член самостійно несе відповідальність за розробку та реалізацію власної енергетичної стратегії.

Країни ЄС мають значний досвід у виробництві енергії шляхом переробки біомаси. До кінця 2021 року в Європі налічувалося 1 067 заводів з виробництва біометану, що на 184 більше, ніж у 2021-му, що зробило 2021 рік найбільшим за темпами зростання біометанових установок. За даними Європейської біогазової асоціації (EBA), до вересня 2022 року вже запущено 155 нових біометанових заводів (рис. 2).



Рис. 2. Кількість біометанових заводів у Європі [36]

Виробництво біогазу та біометану в Європі у 2022 році становило 21 млрд кубометрів – 6 % від споживання природного газу в ЄС. Лише виробництво біометану зросло до 4,2 млрд кубометрів у 2022 році (рис. 3).

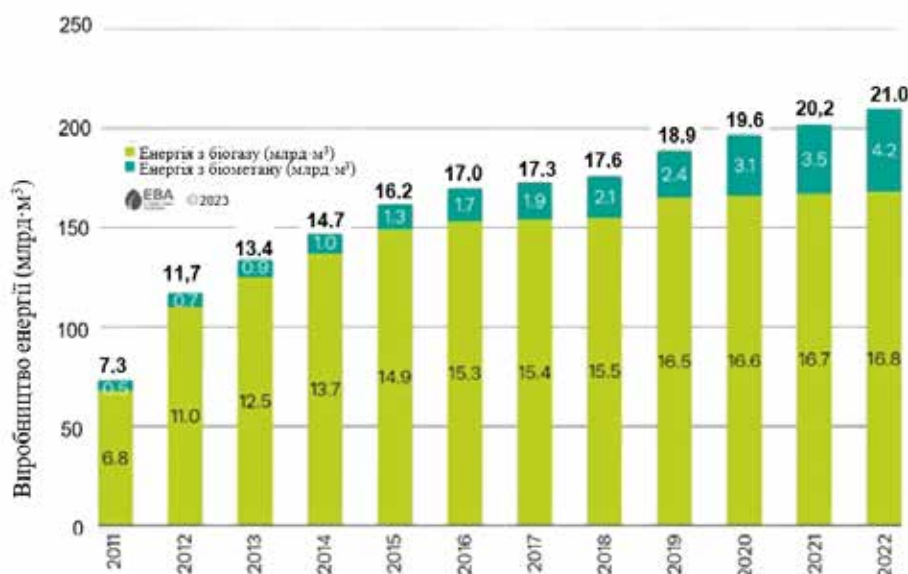


Рис. 3. Сукупне виробництво біогазу та біометану в Європі [37]

Виробництво біометану продовжує зростати, на відміну від виробництва біогазу. Найбільший річний приріст відбувся у 2021 році з додаванням 6,1 ТВт·год, або 0,6 млрд м³. Загальне виробництво біометану у 2021 році склало 37 ТВт·год, що еквівалентно 3,5 млрд м³.

Наразі 58 % біометанових установок у Європі під'єднано до газорозподільної мережі, тоді як 19 % – до газотранспортної. Крім того, 9 % європейських біометанових установок працюють незалежно, а інформація про решту 14 % недоступна в базі даних ЕВА (рис. 4).

У Франції, Нідерландах, Іспанії, Австрії, Данії та Сполученому Королівстві біометанові заводи переважно під'єднані до розподільних газових мереж. Однак в Італії великі біометанові заводи переважно будують для під'єднання до транспортних газових мереж

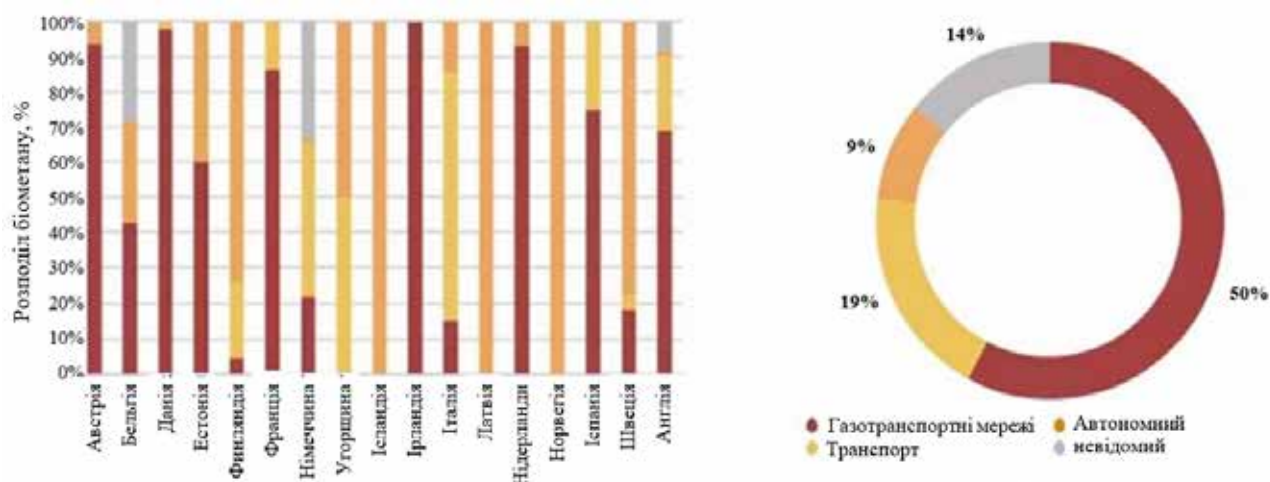


Рис. 4. Під'єднання до мереж природного газу [38]

(далі – ТГМ). газових мереж. Однак в Італії великі біометанові заводи переважно будують для під'єднання до транспортних газових мереж (далі – ТГМ). ТГМ також відіграє важливу роль у Німеччині. У скандинавських країнах біометанові установки здебільшого працюють в автономному режимі. В усіх регіонах частка ріллі під покривні культури встановлена на рівні 20 %. Було оцінено доцільність збільшення покриття для додаткових культур на кожній ділянці.

Цей підхід передбачає, що в середньому 10 % теоретичного потенціалу буде досягнуто до 2030 року (з 65 % для Італії, 20 % для Франції та Німеччини) і 100 % до 2050 року (рис. 5).



Рис. 5. Структура потенціалу виробництва біометану в Європі [39]

Потенціал для виробництва біометану містить:

- придорожню траву: це стосується трави, зібраної під час обслуговування узбіччя дороги, яка переробляється як відходи для виробництва біогазу;
- постійні луки: це ділянки багаторічних пасовищ. У Німеччині, наприклад, є значна площа таких луків, які не потрібні для годівлі тварин, близько 2 млрд м³ щороку використовують для виробництва біогазу.

В Україні потенціал виробництва біогазу (біометану) оцінюється приблизно в 10 млрд м³ на рік (табл. 1). Планується збільшити виробництво біогазу завдяки покривним культурам, щоб досягти понад 20 млрд м³ на рік до 2050 року. Збільшення обсягів біометану в результаті цього значно підвищить енергетичну незалежність України, що зробить розвиток цієї галузі перспективною можливістю.

Таблиця 1
Потенціал виробництва біогазу / біометану в Україні у 2021 та 2050 роках*

Біогаз / біометан, млрд м ³ /рік	2021 р.	2050 р.
Біогаз з відходів тваринництва	0,83	0,9
Біогаз з поживних залишків сільськогосподарських культур	4,36	5,2
Біогаз із побічних продуктів харчової промисловості	0,66	0,7
Біогаз з твердих побутових відходів	0,53	0,5
Біогаз з осад стічних вод (міські очисні споруди)	0,07	0,1
Енергетичні рослини: біогаз з кукурудзяного силосу (з 1 млн га)	3,00	3,8
Біогаз з покривних культур (20 % ріллі)	0,00	9,8
Біогаз з БМ, отриманий шляхом термічної газифікації (10 %)	0,00	1,0
Біогаз / Біометан, всього	9,45	21,8

* Оцінку зроблено на основі технічно доступної сировини.



Але зацікавленість споживачів у масовому застосуванні БГУ можлива лише за умови їх конкурентоспроможності порівняно, наприклад, із централізованою системою енергопостачання (далі – ЦСЕ). Розглянемо оцінку ефективності впровадження БГУ на основі аналізу їх енергетичного балансу.

2. Енергетичний баланс біоенергетичного комплексу

Енергетичний баланс є найважливішим елементом при проведенні енергетичних аудитів, які охоплюють установки, процеси та технології, пов'язані з виробництвом та споживанням енергії. За допомогою аналізу енергетичних балансів можна визначити рівні енергоспоживання, втрати й витрати, формуючи цінну основу для проектування та оптимального управління енергетичними системами. До основних функцій енергетичних балансів можна зарахувати:

- аналіз надходжень, втрат і витрат на різні види енергії;
- оцінку ефективності процесів перетворення енергії.

На практиці різні види енергетичних балансів можуть бути розроблені на основі різних джерел даних, включно з технічною документацією, експлуатаційними даними, результатами експериментальних досліджень. До найбільш часто використовуваних видів енергетичних балансів належать:

- синтетичний баланс: показує розподіл придбаних, поставлених і вироблених енергетичних ресурсів у межах одиниці енергозабезпечення;
- фактичний баланс: дає змогу оцінювати показники енергоефективності установок та обладнання порівняно з їх проєктними характеристиками;
- аналітичний баланс: представляє характер зміни споживання енергоресурсів, з розбивкою їх корисної цінності і втрат;
- нормативна збалансованість: урахує можливості раціоналізації використання енергії та мінімізації втрат;
- перспективний баланс: охоплює довгострокові прогнози розвитку виробництва на п'ять років і більше.

Основною інформацією для створення енергетичного балансу підприємства є: формування статистичної звітності; енергетичний паспорт; норми питомих витрат; проєктна, технічна та експлуатаційна документація; звітні дані з енергоспоживання (добові, сезонні, річні), включно з графіками навантаження; експериментальні дослідження і їх математична обробка; дані вимірювань та розрахунків та інші.

Будуючи систему енергопостачання на базі БГУ, необхідно отримати всі види виробленої енергії, а також втрати й витрати на кожному етапі перетворення енергії з одного виду в інший.

На основі результатів аналізу енергетичних балансів енергоспоживання сільськогосподарськими об'єктами складають організаційно-технічні заходи щодо економії енергетичних ресурсів.

Скористаємося детермінованим підходом створення синтетичного енергетичного балансу БГУ. Як вхідні параметри використовуємо техніко-економічні показники БГУ, основні дані яких наведено в таблиці 2.

Потенціал виробництва біогазу залежить як від виду сировини, що використовується, конструкції БГУ, якості теплоізоляції та виконання умов технологічного процесу, матеріалів і конструкції основних їх елементів, так і від кліматичних умов у районах їх розташування. При цьому середнє споживання виробленої енергії для забезпечення процесу роботи БГУ в кліматичних широтах України становить у середньому: теплової – від 20 до 50 %, і додатково електричної – від 6 до 9 % від загальних вироблених обсягів енергії.

У подальшому для отримання загальних результатів енергетичного балансу будемо оцінювати їх показники у відносних величинах на основі вищенаведених експериментальних даних.

Так, узагальнений енергетичний баланс БГУ має вигляд:

Таблиця 2

Техніко-економічні показники біогазових установок

Показник	Кобос – І	Біогаз 301	УкрНДІ Агропроект	Агрофірма «Енбом», Фінляндія	«Зорг біогаз» Україна	ТОВ «Екоген»
Об'єм реактора, м ³	225	300	150	120	3x2400 +1000	100
Температура бродіння, °С	40	40	40	35-40	35-40	35-40
Добовий вихід біогазу, м ³	500	350	178	140	9000	50
Добова переробка біогазу, м ³	до 50	30,9	16,5	7	400	2,4
Вихід біогазу з 1 т біомаси, м ³	2	1,1	1,2	1,46	1,4	1,4
Час обігу біомаси, доби	5	10	9	14	15	15
Вологість біомаси на виході, %	96,2	99,5	93,7	95,2	94	94
Товарний біогаз, %	59,3	55,2	52,1	60	80	80
Потужність, кВт·год/доб	100,2	151	24,5	-	22000	50
Кількість персоналу	4	4	4	4	10	2
Визначення	біогаз, добрива	Знезара- ження відходів ферми	біогаз, добрива	біогаз, , добрива	біогаз, добрива	біогаз, добрива

$$E_{\text{be}} + E_e + E_m = E_o + E_{\text{bz}} + \Delta E_{\text{bz}}, \quad (1)$$

де E_{be} – кількість біологічної енергії, наявної в органічних відходах;

E_e – електроенергія, яка споживається для задоволення внутрішніх потреб БГУ (як-от змішування, подрібнення, завантаження, вивантаження та зволоження органічних відходів, а також робота компресорних установок);

E_m – теплова енергія, яка необхідна для підтримки теплового режиму установки;

E_o – указує на біологічну енергію, що зберігається у вироблених добривах;

E_{bz} – енергетичний потенціал утвореного біогазу;

$\Sigma \Delta E$ – сумарні втрати електричної та теплової енергії на всіх етапах виробництва.

Відповідно до [30–32], на рис. 6 наведено узагальнений енергетичний баланс БГУ для виробництва біогазу, електроенергії, теплової енергії та добрив.

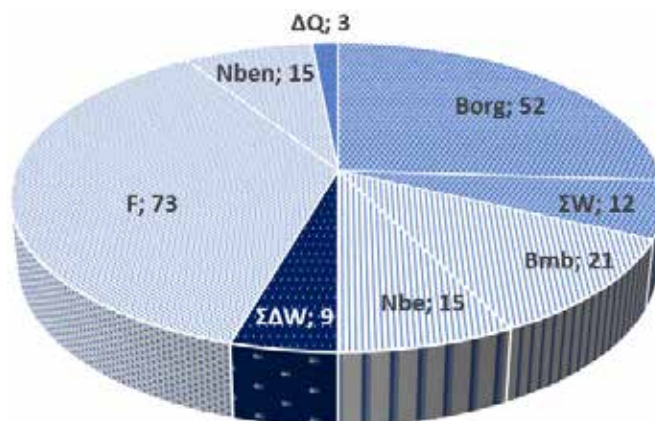


Рис. 6. Узагальнений енергетичний баланс БГУ

Структура узагальненого енергетичного балансу для БГУ містить такі складники: B_{org} – енергія з органічних відходів, %; ΣW – сумарні витрати теплової та електричної енергії, необхідні для забезпечення технологічного процесу БГУ, %; B_{mb} – енергія від гною в результаті життєдіяльності кислото- та метаноутворювальних бактерій, %; N_{be} – енергія біогазу, що утворюється в результаті дії метаноутворювальних бактерій, яка може бути використана в технологічному процесі та перетворена в електричну або теплову енергію, %; $\Sigma \Delta W$ – загальні втрати енергії та витрати (як електричні, так і теплові), пов’язані з роботою БГУ, %; F – енергія, що міститься в добриві, %; N_{ben} – обсяги біогазу з БГУ, які були утилізовані за заявкою споживача; ΔQ – втрати теплової енергії під час вивантаження добрив, %.

Порівняємо системи енергопостачання від БГУ та ЦСЕ, розглядаючи діяльність у сферах [33; 34]. Установлено, що обидві системи мають схожу структуру: A – підготовка органічних відходів до використання (виробництво або вилучення, транспортування, підготовка до використання, завантаження тощо); B – виробництво з органічних парових відходів, при цьому БГУ виробляє біогаз й органічні добрива та сприяє їх поширенню; C – перетворення енергії біогазу (пари) в механічну, потім електричну або теплову енергію; D – розподіл теплової та електричної енергії споживачам; E – перетворення теплової або електричної енергії в інші види. Аналіз загального енергетичного балансу показує, що 73 % енергетичних ресурсів БГУ міститься в добривах ($F = B_{org} + B_{mb}$). Сумарні втрати енергії та витрати на забезпечення технологічного процесу становлять 12 % ($\Sigma W = \Sigma \Delta W + \Delta Q$). Коли БГУ постачається енергією з інших ВДЕ, наприклад, з ВЕС і СЕС, кількість комерційної енергії біогазу відповідає 15 % від загальної, тобто в цьому випадку $N_{be} = N_{ben}$.

Узагальнений енергетичний баланс БГУ охоплює всі робочі сектори (A, B, C, D, E) ЦСЕ [35], хоча тут потужність, дальність передачі та кількість перетворень енергії значно нижчі.

На основі узагальненого енергетичного балансу БГУ (рис. 6), формули (1) та аналізу [31; 32] визначимо значення коефіцієнта використання енергії (КВЕ) так:

- для сектору «А», коли встановлено гравітаційну систему видалення гною, КВЕ становить приблизно 1;
- для сектору «Б» КВЕ становить 0,91;
- для сектору «С», який містить дизельну електростанцію, КВЕ становить 0,16;
- коли відстань до споживачів у секторі «Д» мінімальна, КВЕ наближається до 1;
- для сектору «Е», який передбачає перетворення виробленої енергії в інший тип, ми припускаємо, що середній КВЕ становить 0,8.

Очікується, що кількісна середня оцінка КВЕ (за винятком енергії добрив) у процесі виробництва електроенергії на БГУ буде в межах діапазону:

$$K_{БГУе} = K_A \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_D \cdot K_E = 0,115. \quad (2)$$

З огляду на умови виробництва теплової енергії:

$$K_{БГУт} = K_A \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_D \cdot K_E = 0,58. \quad (3)$$

На основі даних [12; 17] проведено кількісну оцінку КВЕ централізованих систем електропостачання (ЦСЕ) з ТЕС:

$$K_{ЦСЕ} = K_A \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_D \cdot K_E = 0,29, \quad (4)$$

і ТЕС:

$$K_{ТЕС} = K_A \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_D \cdot K_E = 0,12. \quad (5)$$

На підставі аналізу отриманих значень КВЕ (2–5) можна зробити висновок, що виробництво енергії (як теплової, так й електричної) локальними системами на базі БГУ можна порівняти



із централізованими ТЕС та котельнями. Однак для віддалених споживачів і сільськогосподарських підприємств використання БГУ підвищить надійність і незалежність енергопостачання та сприятиме покращенню навколишнього середовища.

Висновки

1. Проведені дослідження висвітлюють унікальні аспекти реформування енергетичного сектору відповідно до вказівок Європейської комісії та потенціал досягнення цілей Зеленої угоди за різними сценаріями. Підкреслюється важливість розвитку енергетичного сектору, оскільки він безпосередньо впливає як на добробут населення, так і на економічне зростання.

2. Економічна життєздатність впровадження БГУ як локального джерела електроенергії є конкурентоспроможною порівняно із централізованими енергосистемами, як-от ТЕС і котельні, з подібною структурою, але меншою кількістю робочих зон.

3. Запровадження БГУ зменшити: залежність країни від імпорту енергоносіїв; дисбаланс енергетичної системи при використанні БГУ як високогнучких установок; а для конкретних виробничих підприємств – витрати на придбання енергії – електричної, теплової, хімічної у вигляді добрив.

4. Дані енергетичного балансу свідчать про те, що 73 % енергетичних ресурсів БГУ зосереджено в біомасі.

Список використаних джерел

1. Qawaqzeh M., Dudnikov S., Miroshnyk O., Moroz O., Savchenko O., Trunova I., Pazyi V., Danylchenko D., Halko S. Buinyi, R. Development of algorithm for the operation of a combined power supply system with renewable sources. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine. 2022. 1–4. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372>.
2. Syromyatnikov D., Druzenianova V., Beloglazov A., Bakshtanin A., Matveeva T. Evaluation of the economic profitability of using renewable energy sources in agro-industrial companies. *International Journal of Renewable Energy Development*. 2021. 10(4). 827–837. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.37908>.
3. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia. 2020. 2. 39–44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.
4. Bien J., Bien B. Rapid assessment of solar PV micro-system energy generation in Poland based on freely pvlb-pyth library. *Production Engineering Archives*. 2024. (30)3. 326–332. <https://doi.org/10.30657/pea.2024.30.32>.
5. Trunova I., Miroshnyk O., Moroz O., Pazyi V., Sereda A., Dudnikov S. The analysis of use of typical load schedules when the design or analysis of power supply systems. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine. 2020. 61–64. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250120>.
6. Chub A., Vinnikov D., Stepenko S., Liivik E., Blaabjerg F. Photovoltaic Energy Yield Improvement in Two-Stage Solar Microinverters. *Energies*. 2019. 12. 3774. <https://doi.org/10.3390/en12193774>.
7. Savchenko O., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Kozlovskyi O., Buinyi R., Halko S. Improving the Efficiency of Solar Power Plants Based on Forecasting the Intensity of Solar Radiation Using Artificial Neural Networks. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine. 2021. 137–140. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570009>.
8. Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств : монографія. Мелітополь : Люкс. 2019. 215 с.
9. Androniceanu A. M., Georgescu I., Dobrin C., Dragulanesu I. V. Multifactorial components analysis of the renewable energy sector in the OECD countries and managerial implications. *Polish Journal of Management Studies*. 2020. 22(2). 36–49. <https://doi.org/10.17512/pjms.2020.22.2.03>.
10. Ulewicz R., Siwiec D., Pacana A., Tutak M., Brodny J. Multi-Criteria Method for the Selection of Renewable Energy Sources in the Polish Industrial Sector. *Energies*. 2021. 14. 2386. <https://doi.org/10.3390/en14092386>.

11. Kolcun M., Rusek K., Valentyn T. Power plants of Poland and Slovakia in aspect of sustainable development. *Polish Journal of Management Studies*. 2019. 20(2). 300–310. <https://doi.org/10.17512/pjms.2019.20.2.25>.
12. Belik M., Rubanenko O. Implementation of Digital Twin for Increasing Efficiency of Renewable Energy Sources. *Energies*. 2023. 16. 4787. <https://doi.org/10.3390/en16124787>.
13. Qawaqzeh M., Lazurenko A., Miroshnyk A., Dudnikov S., Savchenko A., Trunova I. Analysis of the energy balance of the local energy supply system based on the bioenergy complex. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine. 2020. 134–138. <https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160050>.
14. Roncero-Clemente C., Stepenko S., Husev O., Romero-Cadaval E., Vinnikov D. Maximum boost control for interleaved single-phase Quasi-Z-Source inverter. *IECON 2017 – 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, China. 2017. 7698–7703. <https://doi.org/10.1109/IECON.2017.8217349>.
15. Viacheslav B., Roman B., Andrij S., Volodymyr T. Integration of New Single-Phase-to-Ground Faults Detection Devices into Existing SmartGrid Systems. *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine. 2019. 84–87. <https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764237>.
16. Olatomiwa L., Mehilef S., Huda A., Ohunakin Olayinka S. Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geopolitical zones of Nigeria. *Renewable energy*. 2015. 83. 435–446. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.057>.
17. Redko K., Borychenko O., Chernyavskiy A., Sayenko V., Dudnikov S. Comparative analysis of innovative development strategies of the fuel and energy complex of Ukraine and EU countries: international experience. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2023. 13(2). 301–308. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14035>.
18. Aslani A., Helo P., Naaranoia M., The role of renewable energy policy in energy dependence in Finland: a system dynamics approach. *Applied energy*. 2014. 113. 758–765. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.015>.
19. Geletukha G., Zhelezna T., Bashtovyi A. Energy and ecology, analysis of technology for production capacity from biomass. *Part 1 Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2017. 39(1). <https://doi.org/10.31472/andhe.1.2017.09>.
20. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Improving energy efficiency of grain cleaning technology. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. 12(10). 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.
21. Markovic S. Exploitation characteristics of teeth flanks of gears regenerated by three hard-facing procedures. *Materials*. 2021. 14. art. 4203. <https://doi.org/10.3390/ma14154203>.
22. Dwornicka R., Pietraszek J. The outline of the expert system for the design of experiment. *Production Engineering*. 2018. 20. 43–48. <https://doi.org/10.30657/pea.2018.20.09>.
23. Fialko N., Environmental aspects of heat recovery systems of boiler plants. *E3S Web of Conf*. 2019. 10010. art. 00015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000015>.
24. Галько С.В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф.*, 10 квіт. 2020 р. Луцьк: МЦНД. 2020. Т. 1. С. 83–90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.
25. Галько С.В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці ТДАТУ. Технічні науки*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 3. С. 130–141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.
26. Lipiński T. The structure and mechanical properties of Al-7 %SiMg alloy treated with a homogeneous modifier. *Solid State Phenomena*. 2010. 163. 183–186. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.163.183>.
27. Scendo M., Radek N., Trela J. Influence of laser treatment on the corrosive resistance of WC-Cu coating produced by electrospark deposition. *International Journal of Electrochemical Science*. 2013. 8. 9264–9277.
28. Krynke M., Klimecka-Tatar D. The use of Computer Simulation Techniques in Production Management. *Materials Research Proceedings*. 2022. 24. 126–133. <https://doi.org/10.21741/9781644902059-19>.
29. Ingaldi M., Ulewicz R. The Business Model of a Circular Economy in the Innovation and Improvement of Metal Processing. *Sustainability*. 2024. 16. 5513. <https://doi.org/10.3390/su16135513>.
30. Krasnozhon A.V., Buinyi R.O., Dihtyaruk I.V., Kvytsynskyi A.O. The investigation of distribution of the magnetic flux density of operating two-circuit power line 110 kV «CHTPP-Chernihiv-330» in the residential



area and methods of its decreasing to a safe level. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2020. 6. 55–62. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2020.6.08>.

31. Halko S., Halko K., Suprun O., Qawaqzeh M., Miroshnyk O. Mathematical modelling of cogeneration photoelectric module parameters for hybrid solar charging power stations of electric vehicles. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week)*, Kharkiv, Ukraine. 2022. 1–6. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916397>.

32. Korchevoi Y. State and prospects of solid fuel energy development of Ukraine. Heat energy – new challenges of the time, Lviv: Ukrainian Technologies Fund. 2009. 29–35.

33. Al. Issa H.A., Qawaqzeh M., Khasawneh A., Buinyi R., Bezruchko V., Miroshnyk O. Correct Cross-Section of Cable Screen in a Medium Voltage Collector Network with Isolated Neutral of a Wind Power Plant. *Energies*. 2021. 14. 3026. <https://doi.org/10.3390/en14113026>.

34. Красножон А. В., Буйний Р. О., Пентегов І. В. Розрахунок втрат активної потужності в заземлювальному проводі повітряних ліній електропередачі. *Технічна електродинаміка*. 2016. 4(2016). С. 23–25. <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.023>.

35. Миколук О., Желавська І., Ляховець В. Формування ключових векторів забезпечення енергетичної безпеки крізь призму інноваційного розвитку альтернативних джерел енергії. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2018. 3(1). С. 199–204. <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6698>.

36. Розвиток європейського ринку виробництва біогазу і біометану – статистика ЄБА 2022. URL: <https://uabio.org/materials/14133/> (дата звернення: 08.02.2025).

37. EBA Statistical Report 2023 | European Biogas Association. URL: <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2023/> (дата звернення: 08.02.2025).

38. Європейська карта видобутку біометану. URL: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2023/05/GIE_EBA_Biomethane-Map-2022-2023.pdf (дата звернення: 08.02.2025).

39. Розвиток виробництва біометану в Європі та можливості Україні. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/02/2023-02-10-UABio-Friday-Matveev.pdf> (дата звернення: 08.02.2025).

Стаття надійшла до редакції 17.02.2025 р.

O. Dudnikov¹, S. Halko², O. Miroshnyk¹, O. Savchenko¹, D. Zelenkov

¹ State Biotechnological University

² Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE UNIFIED ENERGY SYSTEM

Summary

Against the backdrop of the rapid growth of renewable energy production – primarily from wind turbines and solar power plants – there is a growing need to balance their variable capacity to ensure stability of operation. A key characteristic of energy sources from wind farms and solar power plants is their dependence on weather conditions, which leads to unstable energy production. When large-scale renewable energy sources (RES) is integrated into power systems, there are problems with maintaining both static and dynamic stability of operating modes. If the share of RES in the total energy balance exceeds 2 %, existing grids often lack the technical ability to cope with generation and flow peaks, which requires infrastructure modernization and grid modernization. Research shows that the most effective one-size-fits-all approach to balancing this variability is to build flexibility into the energy system of other RES, which allows for adjustments in electricity production or consumption in response to fluctuations from wind farms and solar power plants.

The article proposes to use biogas plants (BGP) as highly flexible energy sources. An important step in deciding whether to use them is to predict the energy efficiency of the proposed biogas-based energy supply system compared to the current centralized model. Energy efficiency indicators were evaluated using the analysis of energy balances constructed



using averaged statistical data on energy losses and consumption at biogas facilities. Цей підхід рекомендується використовувати на ранніх етапах визначення технічних вимог, що дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо побудови або модернізації існуючих енергетичних систем. The introduction of BGPs as local energy sources turns out to be economically competitive compared to centralized systems, such as thermal power plants (TPPs) and boiler houses. BGP have a similar structure to these systems, but work with less equipment required to operate. The integration of BGPs can help reduce national dependence on imported energy, correct imbalances in the energy system due to their flexibility, and reduce the cost of energy – electrical, thermal or chemical (e.g. fertilizers) – for specific manufacturing plants. Data on the energy balance show that 73 % of the energy resources of the BGP are concentrated in biomass.

Keywords: biogas plant, energy supply system, energy balance, solar power plant, wind farm, energy efficiency.



ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-10

УДК 604.2:664.162.8

В. М. Бандура¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-8074-3020

О. П. Прісс², д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-6395-4202

Т. О. Колісниченко², к-т техн. наук

ORCID: 0000-0003-0560-9520

Д. І. Сердюк², аспірант

ORCID: 0009-0006-5026-3919

¹ Національний університет біоресурсів та природокористування України² Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: vbandura@nubip.edu.ua

РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ НИЗЬКОКАЛОРІЙНОГО ЛИМОНАДНОГО КОНЦЕНТРАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАТУРАЛЬНИХ ПІДСОЛОДЖУВАЧІВ

Анотація. У статті досліджено виготовлення функціональних лимонадних концентратів із заміною цукру на природний підсолоджувач стевіозид. Запропоновано оптимальну рецептуру лимонадних концентратів, яка передбачає використання замінників цукру у визначених пропорціях. Завдяки цьому калорійність лимонадних концентратів зменшується майже у 2,35 раза порівняно з рецептурою, що містить цукор. Глікемічний індекс у лимонадних концентратах зі стевіозидом менший майже в 1,15 порівняно з рецептурою, що містила цукор. Додавання топінамбура до рецептури із цукром та окремо зі стевіозидом робить смак м'якшим і приємнішим, а також покращує корисні властивості лимонадних концентратів.

Ключові слова: функціональні продукти, лимонадний концентрат, цукор, стевіозид.

Постановка проблеми. Серед усіх основних смаків солодкі є найбільш бажаними серед людей. Через надмірне споживання солодоців зростає кількість населення з ожирінням, порушенням обміну речовин та багатьма іншими захворюваннями. Незважаючи на всі ці проблеми, споживання цукру в усіх країнах світу постійно зростає [1]. Оскільки цукор залишається одним із найпоширеніших інгредієнтів у раціоні сучасної людини, з'явилася необхідність у пошуку більш корисних його замінників. Дедалі більший інтерес до здорового харчування спричинив підвищений попит на альтернативи цукру, особливо на натуральні підсолоджувачі. Це стимулювало наукові дослідження, спрямовані на вивчення природних підсолоджувачів. Сьогодні ринок пропонує широкий вибір як натуральних, так і синтетичних цукрозамінників. Одними з популярних варіантів є стевіозид – природний підсолоджувач, отриманий з рослини стевії, а також коренеплоди топінамбура, які є джерелом інуліну.

На сучасному ринку представлена доволі вузька лінійка напоїв із низьким умістом цукру або повністю без нього, які б не лише відповідали вимогам здорового харчування, а й були корисними для людей із певними захворюваннями, зокрема надмірною вагою та ожирінням. Саме тому розробка рецептури лимонадних концентратів зі зниженим глікемічним індексом є актуальним завданням, спрямованим на створення корисної та безпечної альтернативи традиційним солодким напоям.

Аналіз останніх досліджень. Як відповідь на описану проблему, останніми роками розробка здорових продуктів, включно з функціональними напоями, «напоями для здоров'я та



оздоровлення» та ароматизованою водою, зросла в усьому світі [2]. Також суттєво зросло споживання цих високоякісних і легких для вживання нових продуктів [3; 4]. Останнім часом зростає попит на альтернативні напої для заміни солодких напоїв [5]. Потреба споживачів у здорових та функціональних напоях разом із простою гідратацією призвела до зростання ринку функціональних напоїв та ароматизованої води [5].

Для виготовлення лимонадних концентратів використовували різні функціональні продукти плоди і ягоди як у свіжому вигляді, так і заморожені [6], проводили дослідження щодо сировини промислового виробництва, вказуючи, що основне значення при виборі мають смакові якості плодової сировини [7].

Сучасні споживачі обмежують додавання цукру у свій раціон або замінюють його замінниками сахарози. Найпоширеніший спосіб зменшити кількість цукру у своєму раціоні – це припинити підсолоджувати такі напої, як кава та чай, і купувати продукти з низьким вмістом цукру. Це пов'язано зі зміною способу життя, що сприяє здоров'ю, особливо серед людей з вищою освітою та в кращому матеріальному становищі. Ці люди значно частіше вживають підсолоджувачі, зазвичай стевіолглікозиди, і вибирають продукти з низьким вмістом цукру, готуючи їх удома або купуючи готові продукти на ринку [8].

Крім того, серед споживачів зростає попит на натуральні харчові інгредієнти. Споживачі стали більш обізнаними про вплив харчування на здоров'я і звертають увагу на те, що вони їдять, походження їжі та її інгредієнти. Тому шукають продукти з природними властивостями, свідомо перевіряючи списки харчових добавок й етикетки продуктів, очікуючи, що вони будуть прозорими. Також зростає тенденція до «здорового» харчування, включно зі споживанням продуктів з низьким вмістом енергії та перевагою до більш здорових харчових альтернатив. Ці продукти рекомендовані людям з діабетом або іншими захворюваннями, включно з ожирінням, або тим, хто піклується про свою фігуру та здоров'я загалом [9; 10].

Натуральні підсолоджувачі часто вважаються більш відповідними тенденції до здорового та природного харчування, ніж синтетичні підсолоджувачі. Нині споживачі більш охоче пробують природні альтернативи сахарозі [11; 12]. У харчовій промисловості суттєво зріс попит на натуральні цукрозамінники. Стевіозиди, отримані з листя стевії, можна використовувати як харчовий інгредієнт у процесах виробництва харчових продуктів як здорову, безпечну та природну альтернативу сахарозі та аспартаму, наприклад, у фруктових і чайних напоях, молочних продуктах, шоколаді, джемах, хлібобулочних виробах та печиві [13–16].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження – розробити рецептуру низькокалорійного лимонадного концентрату з використанням натуральних підсолоджувачів. Висунуто гіпотезу про можливість одержання продуктів лимонадного концентрату із заміною цукру на стевізид із прийнятною сенсорною якістю, низькокалорійних та низьким глікемічним індексом.

Основна частина. Як сировину для виробництва лимонадних концентратів обрано такі рослинні продукти: плоди груші, лимона, обліпіхи, імбир, бульби топінамбура та натуральний цукрозамінник стевізид.

Як основну фруктову сировину для лимонадних концентратів вибрали плоди груші сорту Бере Боск, що відповідають вимогам ДСТУ 8326:201 [17].

Плоди лимону також є компонентом натуральних лимонадних концентратів і повинні відповідати вимогам ДСТУ 4429-82 [18].

Імбир містить понад 100 активних речовин, зокрема ефірні олії, вітаміни (С, В1, В2), мінерали (магній, калій, фосфор), амінокислоти та антиоксиданти. Особливо цінним є гінгерол – сполука, що надає імбиру характерний гострий смак і забезпечує його лікувальні властивості.



Корінь імбиру, який використовується для виробництва лимонадних концентратів, повинен відповідати вимогам ДСТУ 8005:2015 «Прянощі. Імбир. Технічні умови» [19].

Топінамбур належить до природних цукрозамінників. Для використання у виробництві лимонадних концентратів він має відповідати показникам якості, визначеним у ДСТУ 8046:2015 «Топінамбур (земляна груша) свіжий. Технічні умови» [20].

Обліпіха є одним із найцінніших джерел вітаміну С, необхідного для підтримки імунітету, здоров'я шкіри та синтезу колагену. Одна порція цих плодів містить у понад три рази більше вітаміну С, ніж рекомендована добова норма [21].

Стевіозид – це натуральний підсолоджувач, отриманий із рослин, а не синтетичний заміник цукру. Численні дослідження підтвердили його безпечність для здоров'я та негативного впливу на організм.

Для проведення досліджень розроблено дослідні рецептури низькокалорійних лимонадних концентратів, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні рецептурні композиції

Назва продукту	Кількість, г
Сік груші (K1) /(K2)	500/599,5
Очищений корінь імбиру	5
Обліпіха ягоди	145
Топінамбур	200
Сік лимона	50
Цукор (K1)/ стевіозид (K2)	100/0,5
Вихід	1000/1000

Для приготування лимонадного концентрату використовували груші в технічній стадії стиглості, з більш твердою консистенцією та без кам'янистих включень. Плоди груші ретельно мили, видаляли плодоніжку й насіння, а також очищали від шкірки. Підготовлені груші нарізали скибочками завтовшки 3–4 мм й піддавали бланшуванню. Процес бланшування проводили в 1,5 % розчині лимонної кислоти при температурі 85 °C протягом 3 хвилин.

Коренеплоди топінамбура ретельно мили. Процес миття топінамбура містив три етапи: замочування, очищення та ополіскування. Після цього проводили інспекцію, сортування та бланшування. Бланшували парою при температурі 120 °C впродовж 5 хвилин, після чого топінамбур охолоджували.

Плоди лимонів, обліпіхи та імбир промивали, після чого очищали лимони й імбир від шкірочки.

З підготовлених плодів груші, лимонів та бульб топінамбура віджимали сік. До отриманої суміші натуральних соків додавали ягоди обліпіхи, нарізаний імбир і цукор. Суміш доводили до кипіння, після чого варили на середньому вогні 15–20 хвилин за постійного перемішування. Потім її охолоджували до кімнатної температури та фільтрували для усунення твердих часток. Готовий концентрат нагрівали до температури 100 °C та фасували гарячим розливом у стерилізовані скляні пляшки, герметично закривали й охолоджували. Маркували пляшки з лимонадним концентратом та зберігали за температури 0–5 °C до 2 місяців.

З метою оцінки розроблених рецептур низькокалорійних лимонадних концентратів проведено органолептичні дослідження, а також визначено енергетичну цінність та глікемічний індекс дослідних композицій.

Перед проведенням органолептичної оцінки лимонадні концентрати розводили питною водою у співвідношенні 1:3. Після маркування тризначним кодом зразки доставляли на оцінку

при температурі 25 ± 1 °C разом з оціночною карткою. Між випробуваннями надавали питну воду. Кількісну оцінку ознак проводили за неструктурованою 10-бальною шкалою від 0 до 10 умовних одиниць з відповідними прив'язками слів:

- запах – грушевий, солодкий, нектарний, винний, металевий, різкий та «інший»;
- смак – солодкий, пряний (деревний), металевий, терпкий, гіркий, кислий та «інший»;
- колір – однорідний за всією масою світлий, однорідний за всією масою більш темний, незначне знебарвлення, неоднорідний;
- консистенція – однорідна рідка, однорідна помірної в'язкості, однорідна густа, неоднорідна з включеннями шматочків фруктів;
- зовнішній вигляд – незначний осад на дні тари; наявність частинок м'якоті; наявність маслянистого кільця на поверхні лимонаду з обліпихового соку.

Для оцінки бажаності використовувався метод класичної гедонічної шкали з 9-бальною класичною гедонічною шкалою: 9 – мені надзвичайно подобається; 8 – мені дуже подобається; 7 – мені подобається; 6 – у міру подобається; 5 – мені це ні не подобається; 4 – трохи не подобається; 3 – помірно не подобається; 2 – мені це дуже не подобається; 1 – мені це надзвичайно не подобається [22]. Респондентів просили вказати властивості продукту (колір, смак, запах, консистенція тощо), які найбільше вплинули на їх оцінку. Результати дегустаційної оцінки дослідних зразків наведені на рисунку 1.

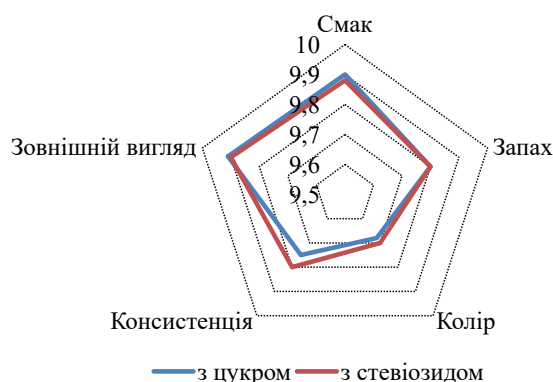


Рис. 1. Профілограми загальної органолептичної оцінки лимонадних концентратів із цукром та стевіозидом

Сумарна дегустаційна оцінка дослідної рецептурної композиції K1 (із цукром) становила 49,08 бала, середня – 9,816 бала, композиції K2 (зі стевіозидом) – 49,04 бала, а середній бал – 9,808. Дегустаційна оцінка обох лимонадних концентратів була майже однаковою. Проте в багатьох дослідженнях [11] стевія має специфічний гіркуватий або лакричний післясмак, який не всім подобається. Топінамбур компенсує недоліки стевії. Бульби топінамбура містять природні фруктани, зокрема інулін, які мають м'який солодкуватий смак і здатні згладжувати негативний ефект стевії.

Серед особливостей, які найбільше вплинули на оцінку лимонадних концентратів, споживачі назвали смак і запах. Колір та консистенція лимонадних концентратів згадувалися епізодично.

Одним з показників функціональності продукту є його енергетична цінність. Різні продукти, які включені до рецептур лимонадних концентратів, містять різну кількість макронутрієнтів, які визначають енергетичну цінність.

У межах наших досліджень визначено енергетичну цінність розроблених лимонадних концентратів. Розрахунок виконували на основі загальновизнаного принципу, згідно з яким білки, жири та вуглеводи при повному окисненні в організмі людини виділяють різну кількість тепло-



вої енергії. Зокрема, 1 г засвоюваних білків забезпечує 4,0 ккал (16,7 кДж), 1 г жирів – 9,0 ккал (37,7) кДж, 1 г вуглеводів – 3,75 ккал (15,7 кДж) [21].

Вихідні дані для розрахунків наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку енергетичної цінності лимонадних концентратів

Сировина	Рецептурна кількість, г	Білки		Жири		Вуглеводи	
		100,г	Вихід	100,	Вихід	100	Вихід
Рецептурна композиція К1							
Сік груші	500	0,4	2,0	0,2	1,0	1,0	5,0
Очищений корінь імбиру	5	1,8	0,09	0,8	0,04	18	0,9
Обліпіха ягоди	145	0,8	1,16	1,0	1,45	11	15,95
Топінамбур	200	2,0	4	0	0	17	34
Сік лимона	50	1,1	0,55	0,3	0,15	9,3	4,65
Цукор	100	0	0	0	0	99,8	99,8
Вихід	1000		7,8		2,64		160,3
Рецептурна композиція К2							
Сік груші	599,5	0,4	2,39	0,2	1,19	1,0	5,95
Очищений корінь імбиру	5	1,8	0,09	0,8	0,04	18	0,9
Обліпіха ягоди	145	0,8	1,16	1,0	1,45	11	15,95
Топінамбур	200	2,0	4	0	0	17	34
Сік лимона	50	1,1	0,55	0,3	0,15	9,3	4,65
Стевіозид	0,5	0	0	0	0	0	0
Вихід	1000		8,19		2,83		61,45

Для розрахунку енергетичної цінності дослідних рецептурних композицій функціональних лимонадних концентратів проводили за формулою:

$$ЕЦ = 4 \cdot \sum \text{білків} + 9 \cdot \sum \text{жирів} + 3,75 \cdot \sum \text{вуглеводів}; (1)$$

К1: на 1000 г

$$ЕЦК1 = 4 \cdot 7,8 + 9 \cdot 2,64 + 3,75 \cdot 166,3 = 678,585 \text{ ккал}$$

або на 100 г – 67,85 ккал.

К2: на 1000 г

$$ЕЦК2 = 4 \cdot 8,19 + 9 \cdot 2,83 + 3,75 \cdot 61,45 = 288,66 \text{ ккал}$$

або на 100 г – 28,86 ккал.

Проведені дослідження показали, що енергетична цінність розробленого лимонадного концентрату, що містить цукор, 67,85 ккал на 100 г (рецептура К1), а концентрат без цукру зі стевіозидом – 28,86 ккал на 100 г (рецептура К2).

Розрахунки показали, що лимонадні концентрати з топінамбуром та стевіозидом можна вважати дієтичними продуктами через низьку енергетичну цінність. Крім того, заміна цукру стевіозидом дає змогу класифікувати ці продукти як низькокалорійні.

Дослідження лимонадного концентрату містили не лише органолептичну оцінку та визначення енергетичної цінності, а й визначення глікемічного індексу. Глікемічний індекс лимонадних концентратів є змінним показником, який залежить від їхнього складу, зокрема від пропорцій фруктів, ягід, цукру та інших інгредієнтів. Що нижчий глікемічний індекс, то менше впливає напій на рівень цукру в крові.

Швидкість підвищення рівня глюкози в крові після вживання фруктів залежить від їхнього виду та способу обробки. Фрукти з низьким вмістом природних цукрів та високим вмістом



харчових волокон (наприклад, яблука, груші) мають нижчий глікемічний індекс, ніж фрукти з високим умістом цукрів (наприклад, банани, виноград). Додавання цукру до будь-яких фруктів збільшує його глікемічний індекс, оскільки цукор швидко перетворюється в глюкозу.

Глікемічний індекс (далі – ГІ) визначається по шкалі від 0 до 100, характеризується: низький ГІ – 55 та менше одиниць; середній – від 56 до 69 одиниць; високий – 70 та більше одиниць [21].

При визначенні глікемічного індексу лимонадних концентратів враховували середній ГІ та кількість кожного компонента рецептури. Результати розрахунків наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку глікемічного індексу лимонадних концентратів

Сировина	Рецептурна кількість, г	Глікемічний індекс	
		100 г	Вихід
Рецептурна композиція із цукром			
Сік груші	500	30	150
Очищений корінь імбиру	5	15	0,75
Обліпіха ягоди	145	15	21,75
Топінамбур	200	15	30
Сік лимона	50	20	10
Цукор	100	65	65
Вихід	1000		277,5
	100		27,7
Рецептурна композиція зі стевіозидом			
Сік груші	599,5	30	179,85
Очищений корінь імбиру	5	15	0,75
Обліпіха ягоди	145	15	21,75
Топінамбур	200	15	30
Сік лимона	50	20	10
Стевіозид	0,5	0	0
Вихід	1000		242,35
	100		24,2

Результати дослідження показали, що глікемічний індекс лимонадних концентратів, незалежно від рецептури, не перевищує 35, що відповідає категорії продуктів з низьким глікемічним індексом. Ці дані узгоджуються з наявними науковими дослідженнями.

Висновки. Дегустаційна оцінка обох рецептурних композицій лимонадних концентратів була досить високою та майже однаковою. Серед особливостей, які найбільше вплинули на органолептичну оцінку лимонадних концентратів, споживачі назвали смак і запах. Колір та консистенція лимонадних концентратів згадувалися спорадично.

У результаті проведених досліджень розроблено оптимальну рецептуру лимонадних концентратів, яка передбачає використання замінників цукру у визначених пропорціях. Завдяки цьому калорійність лимонадних концентратів зменшується майже у 2,35 раза порівняно з рецептурою, що містить цукор.

Стевіозид не впливає на рівень цукру в крові, а топінамбур має дуже низький глікемічний індекс, що робить їхню комбінацію корисною для діабетиків та тих, хто стежить за рівнем цукру. Глікемічний індекс у лимонадних концентратах зі стевіозидом менший майже в 1,15 порівняно з рецептурою, що містила цукор. Отже, додавання топінамбура до рецеп-



тури з цукром та окремо з стевіозидом робить смак м'якшим і приємнішим, а також покращує корисні властивості лимонадних концентратів.

Розроблені рецептури низькоглікемічних лимонадних концентратів є важливим продуктом для споживання людей із певними захворюваннями, зокрема надмірною вагою, діабетом 2 типу та ожирінням.

Список використаних джерел

1. Всесвітній атлас ожиріння. За оцінками, до 2030 року один мільярд людей у всьому світі житимуть із ожирінням. 2022 URL: <https://www.worldobesity.org/resources/resource-library/world-obesity-atlas-2022>. Перевірено 15 грудня 2024 р.
2. Misbah Nazir, Sania Arif, Rao Sanaullah Khan, Wahab Nazir, Nauman Khalid, Sajid Maqsood, Opportunities and challenges for functional and medicinal beverages: Current and future trends, *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 88, 2019, P. 513–526 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.011>
3. Pszczola, D.E.. Making fortification functional. *Food Technology*. 2005, 59. 44–61.
4. González Ibáñez, Laura & Directora, Ibáñez & María, Dra & Meneses, Eugenia & Asesora, Álvarez & Zaida, Dra & Asesora, Nelly & Rodríguez, Dra. Estudio de dosis letal y toxicidad de la ingesta aguda de extractos del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* en modelo animal. 2022
5. Islam J.; Kabir Y. 5–Effects and mechanisms of antioxidant-rich functional beverages on disease prevention. in *functional and medicinal beverages*; Grumezescu, AM, Holban, AM, Eds.; Woodhead Publishing: Duxford, UK, 2019; Vol. 11, pp. 157–198.
6. Сердюк М., Григоренко О., Сухаренко О., Коляденко В. Зміни функціональних властивостей фруктової та ягідної сировини протягом криогенного зберігання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення у сучасних технологіях*, 2020, 2(4), 126–132. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.02.16>
7. Ivanova I., Serdyuk M., Kryvonos I., Yeremenko O., Tymoshchuk T. Formation of flavoring qualities of sweet cherry fruits under the influence of weather factors. *Scientific Horizons*, 2020, 04 (89), 72–81. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-89-4-72-81>.
8. Pielak M. Czarniecka-Skubina E. Trafialek J. Głuchowski A. Contemporary Trends and Habits in the Consumption of Sugar and Sweeteners – A Questionnaire Survey among Poles. *J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 1164.
9. Alkhatib A. Tsang C. Tiss A. Baborun T. Arefanian H. Barake R. Khadir A. Tuomilehto J. Functional Foods and Lifestyle Approaches for Diabetes Prevention and Management. *Nutrients* 2017, 9, 1310.
10. Luo X. Arcot J. Gill T. Louie J.C.Y. Rangan A. A review of food reformulation of baked products to reduce added sugar intake. *Trends Food Sci. Technol.* 2019, 86, 412–425.
11. Mora M.R. Dando R. The sensory properties and metabolic impact of natural and synthetic sweeteners. *CRFSFS* 2021, 20, 1554–1583.
12. Castro-Muñoz R. Correa-Delgado M. Córdova-Almeida R. Lara-Nava D.; Chávez-Muñoz M. Velásquez-Chávez V.F. Ahmad M.Z. Natural sweeteners: Sources, extraction, and current uses in foods and food industries. *Food Chem.* 2022, 370, 130991.
13. Pielak M. Czarniecka-Skubina E. Głuchowski A. Effect of Sugar Substitution with Steviol Glycosides on Sensory Quality and Physicochemical Composition of Low-Sugar Apple Preserves. *Foods* 2020, 9, 293.
14. Orellana-Paucar A.M. Steviol glycosides from *Stevia rebaudiana*: An updated overview of their sweetening activity, pharmacological properties, and safety aspects. *Molecules* 2023, 28, 1258.
15. de Andrade M.V.S. Lucho S.R. de Castro R.D. Ribeiro P.R. Alternative for natural sweeteners: Improving the use of stevia as a source of steviol glycosides. *Ind. Crops Prod.* 2024, 208, 117801.
16. Бандура В. Теплюк К. Обґрунтування виробництва хлібобулочних виробів функціонального призначення для підприємств ресторанного господарства. *Development Service Industry Management*, 2024, (1), 23–28. [https://doi.org/10.31891/dsim-2024-5\(3\)](https://doi.org/10.31891/dsim-2024-5(3))
17. ДСТУ 8326:2015 Груші свіжі середніх і пізніх термінів досягання. Технічні умови. [Чинний від 1987-01- 01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 23 с. (інформація та документація).



18. ДСТУ ЕЭК ООН FFV-14:2007 Фрукты цитрусові. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-14:2004, IDT). [Чинний від 2008-10- 01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2007. 27 с. (інформація та документація).

19. ДСТУ 8005:2015 Прянощі. Імбир. Технічні умови. [Чинний від 2017-01- 01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 21 с. (інформація та документація).

20. ДСТУ 8046:2015. Топінамбур (земляна груша) свіжий. Технічні умови. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2017. 18 с. (інформація та документація).

21. Зарецька Д. Сердюк М. Кривонос І., Бандура В. Заморожений напівфабрикат з додаванням обліпихи, як сировина для продуктів функціонального призначення. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, 23(1), 199–206. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/633>

22. Barylko-Pikielna N. Matuszewska I. Sensoryczne Badania Żywności. Podstawy. Metody. Zastosowania. Wyd. II., Wydawnictwo Naukowe; PTTŻ: Kraków, Poland, 2014; pp. 181–199. (In Polish).

Стаття надійшла до редакції 20.03.20205 р.

V. Bandura¹, O. Priss², T. Kolysnichenko², D. Serdiuk²

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

²Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

DEVELOPMENT OF A LOW-CALORIE LEMONADE CONCENTRATE RECIPE USING NATURAL SWEETENERS

Summary

The article presents a study on producing functional lemonade concentrates by replacing sugar with the natural sweetener stevioside. In the food industry, the demand for natural sugar substitutes has significantly increased. Steviosides obtained from stevia leaves can be used as a food ingredient in manufacturing as a healthy, safe, and natural alternative to sucrose and aspartame.

The aim of the study was to develop a formulation for a low-calorie lemonade concentrate using natural sweeteners. The hypothesis proposed that lemonade concentrate products with sugar replaced by stevioside could be produced with acceptable sensory quality, low calories, and a low glycemic index.

An experimental formulation for producing the lemonade concentrate was developed. A sensory evaluation was carried out, and profiling was performed. The tasting evaluation of both lemonade concentrate formulations was quite high and nearly identical. Among the features that most influenced the evaluation, consumers highlighted taste and aroma, while color and consistency were mentioned only sporadically.

As a result of the research, an optimal formulation was developed that uses sugar substitutes in defined proportions. This reduces the caloric content of the lemonade concentrates by almost 2.35 times compared to the formulation containing sugar.

In addition to determining the organoleptic properties and energy value, studies were conducted to determine the glycemic index of the developed lemonade concentrate. The glycemic index in lemonade concentrates with stevioside is about 1.15 lower compared to the formulation containing sugar. Thus, adding Jerusalem artichoke to the formulation with sugar and separately with stevioside makes the taste milder and more pleasant while enhancing the beneficial properties of the lemonade concentrates.

Keywords: functional products, lemonade concentrate, sugar, Jerusalem artichoke, stevioside.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-11

УДК 641.85:577.118

В. М. Бандура¹, докт. техн. наук, професор
Л. В. Фіалковська², канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000 0001 8074 3020
ORCID: 0000-0002-4353-0963

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України
e-mail: bandura_3@ukr.net

² Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕ
e-mail: larisa_fialkova@ukr.net

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ПЕРЕЕТЕРИФІКОВАНИХ ЖИРІВ

Анотація. У статті описано дійсні технології виробництва переетерифікованих жирів. Процес переетерифікації використовують для зміни фізико-хімічних властивостей олій. Переетерифікацією називають реакцію обміну ацилами при взаємодії молекул двох складних ефірів. Це спосіб модифікації олій та жирів, що дає змогу шляхом перетворення молекул тригліцеридів впливати на їхні властивості. Обґрунтовано впровадження вдосконалення технологічного обладнання цеху з виробництва переетерифікації жирів. Представлено розробку змішувача, проведено основні розрахунки проектного обладнання, наведено відповідні схеми та креслення. Актуальним завданням є розробка нових видів модифікованих жирів на основі сумішей олій. Удосконалено технологію виробництва майонезу; як масляну основу використовували суміші рафінованих дезодорованих олій соняшникової та ріпакової. У статті наведено дані досліджень і розгляд технології виробництва переетерифікованих жирів. Удосконалено технологічну схему виробництва переетерифікованих жирів, що заснована на передовому досвіді провідних підприємств та впровадження новітнього обладнання.

Ключові слова: жири, олії, сировина, якість, технологія, рецептура, обладнання, вдосконалення, переетерифікація.

Постановка проблеми. В олійножировій промисловості України науково-технічний прогрес є рушійною силою підвищення техніко-економічних показників якості й конкурентоспроможності продукції.

Одним із методів отримання жирів з визначеним складом і високими біологічними показниками в олійножировому виробництві є переетерифікація [1–3].

Переетерифікація – безпечний метод модифікації олій. У спрощеному вигляді переетерифікацією можна назвати розщеплення окремих гліцеридів, видалення жирної кислоти, змішування її з іншими жирними кислотами та заміщення іншою жирною кислотою [4–9].

На підприємствах з виробництва олій поширена хімічна переетерифікація. У процесі використовують натрієві каталізатори (найчастіше метилат натрію CH_3ONa). Речовина є попереднім каталізатором реакції, за її допомогою утворюється інший каталізатор, необхідний для завершення реакції (моногліцерат натрію).

Жир, отриманий методом хімічної переетерифікації, піддається рафінації.

Переетерифікацію використовують для покращення складу жиру. Технологія дає змогу отримати жир з визначеним жирнокислотним складом:

- насичені кислоти;
- моно- та поліненасичені жирні кислоти,
- правильне співвідношення Омега-6 / Омега-3.

Метод можна комбінувати з іншими способами обробки олій, щоб отримати потрібні фізико-хімічні властивості. Особливістю переетерифікованих жирів є здатність кристалізуватися в найбільш бажану для більшості твердих жирів β' -форму [10; 11].



Увага, яку останніми роками приділяють виробництву рослинних олій, жирів, маргаринів та майонезів, підкреслює їх значущість як цінних компонентів у раціоні харчування.

Аналіз останніх досліджень. Сировиною для виробництва переестерифікованого жиру є: олія соняшникова, пальмовий олеїн, кислота цитринова харчова; допоміжними матеріалами слугують: етилат натрію, натрій їдкий технічний.

Виробництво переестерифікованих жирів здійснюється періодичним та безперервним методами [2; 4–5].

Ці методи виробництва містять такі стадії [11–15]:

- глибоке висушування рафінованої суміші жирів;
- нейтралізація;
- змішування з каталізатором і переестерифікація за температури 80–130 °С протягом 0,5–1 год (витрати каталізатора 0,9–1,5 кг на тонну жиру);
- дезактивація каталізатора;
- промивка, висушування, відбілювання й дезодорація готового продукту.

У періодичному процесі для змішування вихідних олій і жирів для лужної нейтралізації використовують типовий каталізатор. Переестерифікація суміші жирів, дезактивація каталізатора, промивка й висушування переестерифікованого жиру проводиться в переестерифікаторі – типовому вакуум-промивному апараті.

Відмінною особливістю безперервного методу є «глибока» сушка суміші жирів у вакуум – сушильному апараті безперервної дії і подання каталізатора переестерифікації у вигляді стабілізованої жирової суспензії. Безперервний метод дає змогу автоматизувати виробництво, що сприяє зменшенню трудоемкості на відміну від періодичного методу [11–15].

Структурну схему технологічного процесу переестерифікації жирів наведено на рисунку 1.

Формулювання цілей статті. Мета роботи – вдосконалити технологію виробництва переестерифікованих жирів.

Основна частина. Нами проведені дослідження процесу переестерифікації, розроблений апарат та скомпонована апаратурно-технологічна схема.

Будова та робота проєктного змішувача (рис. 2).

Реактор для змішування складається з корпусу 1, станини 2, змішувального органу 3, завантажувальної та розвантажувальної горловини 4, 5, теплової сорочки 6.

До основної переваги розробленого устаткування можна зарахувати активний спосіб змішування внаслідок виконання змішувального пристрою у формі гідропропелера, який виконано так, що при обертанні приводного вала змішувальні компоненти втягуються та пропускаються через перфорацію виконавчого органу.

Унаслідок змішування відбувається активізація турбулентності рідини, яка проштовхується через отвори, змінюючи кінетичну енергію руху в теплову, що призводить до підвищення температури розчину та швидкості протікання хімічної реакції компонентів.

Перемішування продукту здійснюється мішалкою 3, що складається з вертикального вала з укріпленими на ньому вентиляторним турбулізатором. У нижній частині корпусу є два патрубки для спуску конденсату.

Реактор, призначений для змішування в'язких та рідких продуктів, має такі технічні характеристики, які наведені в таблиці 1.

Апаратурно-технологічна схема виробництва переестерифікованих жирів наведена на рис. 3.

Нерафіновані олії зважуються в ємкості 2, яка розташована на вагах 1. Соняшникова олія і пальмовий олеїн змішуються у співвідношенні 50:50. Далі жировий набір направляється в нейтралізатор 3, який оснащений мішалкою і сорочкою. У нейтралізаторі 3 суміш підігрівається до температури 90–95 °С, змішується з лугом і нейтралізується. Розчин луку в ней-

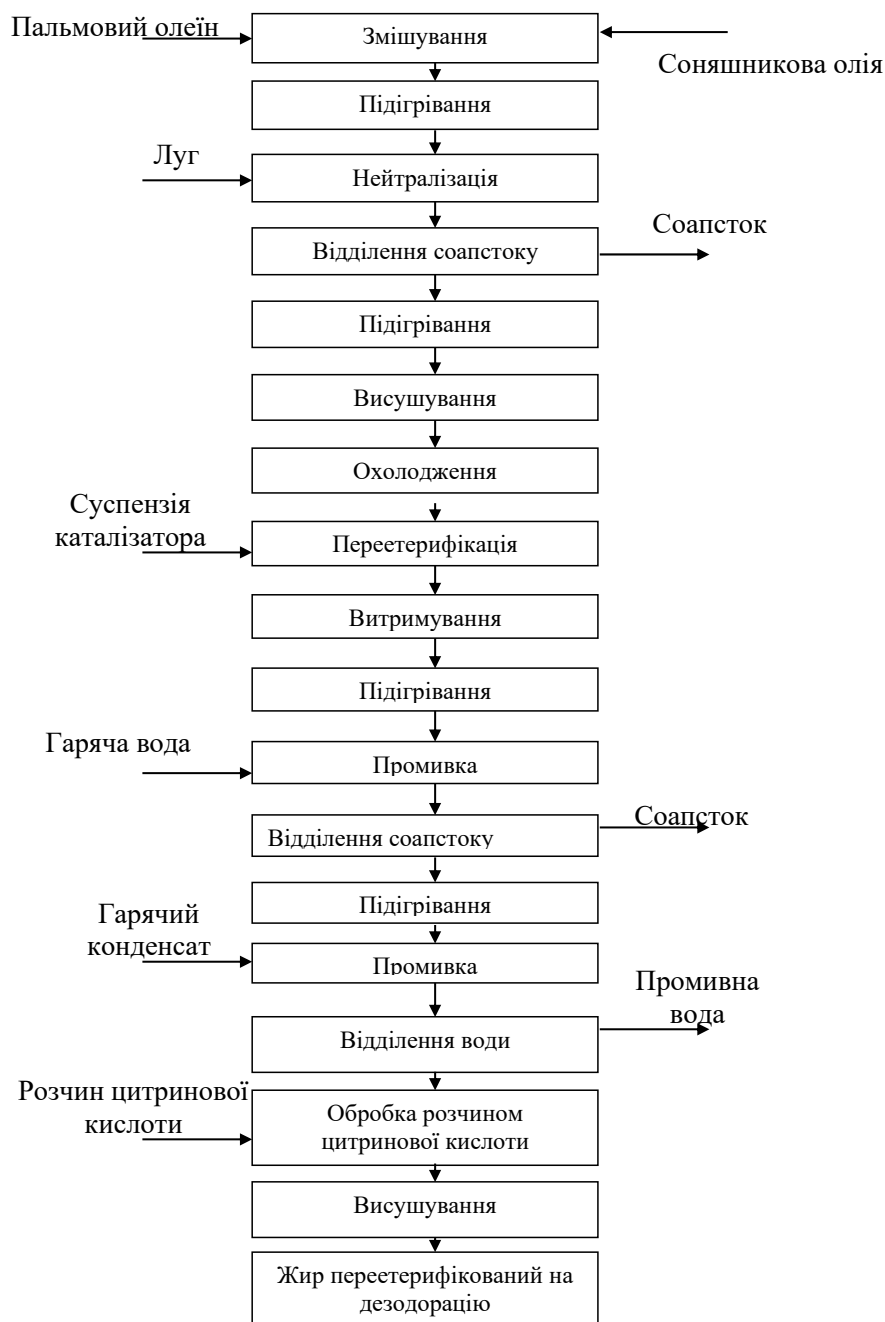


Рис. 1. Структурна схема технологічного процесу переестерифікації жирів

тралізатор 3 подається з бака 4. Нейтралізована суміш жирів відстоюється для більш повного відділення соапстоку. По закінченню відстоювання соапсток відділяється і зливається в збірник 6, звідки періодично відкачується насосом 7 на подальшу обробку. Нейтралізована суміш жирів з нейтралізатора 3 насосом 8 подається в теплообмінник 9 і підігрівач 10, де проходить підігрівання жиру до температури 130–145 °С. Далі жир направляється у вакуум-сушильний апарат 11, де проводиться висушування підігрітого жиру при залишковому тиску 4 кПа (30 мм рт. ст.). Необхідний залишковий тиск в апараті 11 створюється пароежекторним вакуум-насосом 12, який оснащений поверхневими конденсаторами.

Висушена суміш жирів з апарата 11 насосом 13 через теплообмінник 9 і холодильник 14 (де жир охолоджується до температури 80–90 °С) подається в реактор-переестерифікатор 15

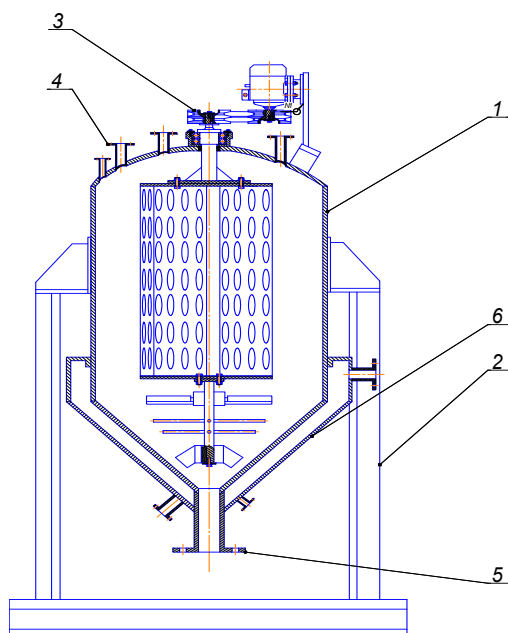


Рис. 2. Конструктивна схема змішувача: 1 – корпус; 2 – станина; 3 – змішувальний орган; 4 – завантажувальна горловина; 5 – розвантажувальна горловина; 6 – теплова сорочка

Таблиця 1

Технічна характеристика змішувача

Показник	Характеристика
Робоча ємкість, л	850
Поверхня нагріву, м ²	2,2
Робочий тиск, МПа:	
у паровій камері	0,3
у корпусі	0,07
Частота обертів мішалки, хв ⁻¹	3000
Встановлена потужність, кВт	1,7
Габаритні розміри, мм	2800 x 2800 x 6300
Маса, кг	740

(змішувач), куди закачується також зі змішувача 16 масляна суспензія каталізатора. Далі суміш надходить у переестерифікатор 28, який забезпечує витримку жиру за температури 80–90 °С протягом години. Переестерифікацію закінчують, подаючи в переестерифікатор розчин солі, який подається з бака 29. Після відстоювання соапсток, що утворився, зливається в збірник 32. Жир промивають гарячою водою, яка подається з бака 30. Після відстоювання вода зливається в збірник 32. Далі з баку 31 в жир подається 5 % розчин цитринової кислоти для руйнування залишків мила. Проводиться відстоювання суміші, промивна вода направляється в збірник 32.

Переестерифікований жир у переестерифікаторі 28 висушується й зливається в бак готового продукту 34, звідки насосом 35 подається на дезодорацію.

Соапсток, що утворився в процесі переестерифікації жирів, використовують для виробництва мила або мийних засобів.

Висновки. Розглянуті конструкції змішувачів мають низку недоліків, які полягають у недостатній якості перемішування реакційної суміші, що призводить до погіршення якості жирів і значної тривалості процесу.

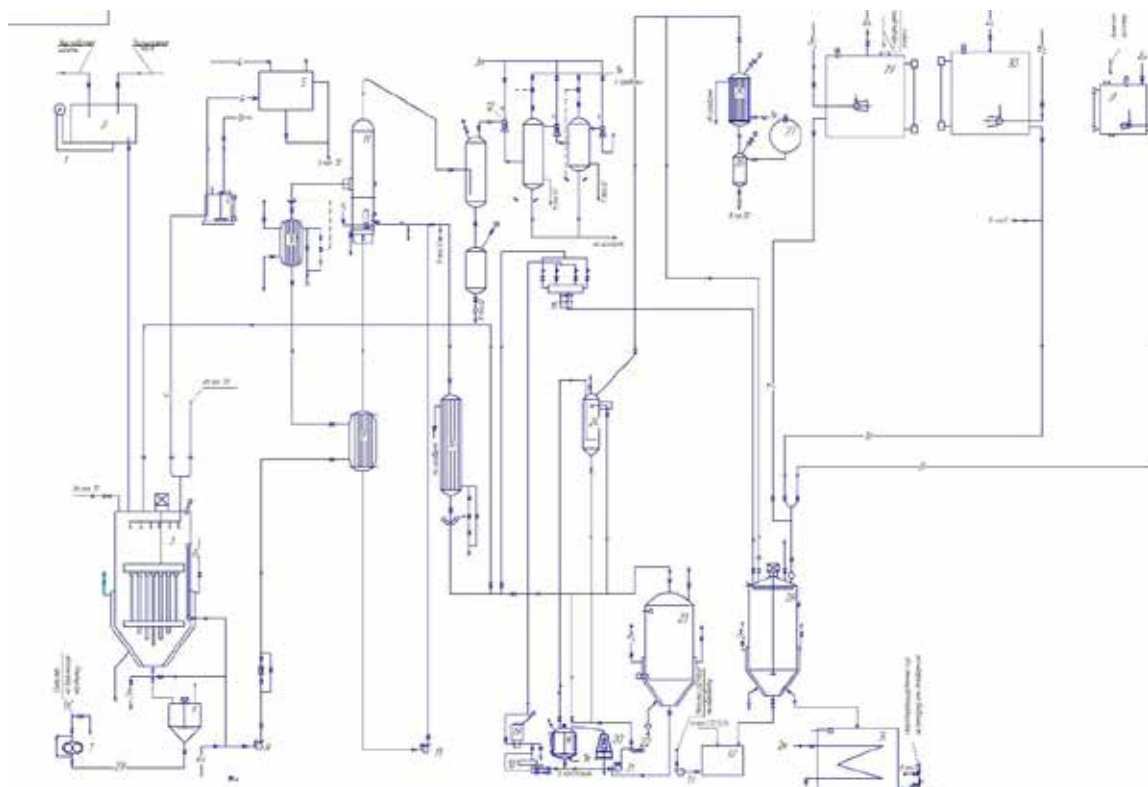


Рис. 3. Апаратурно-технологічна схема виробництва переестерифікованих жирів

Обґрунтовано проведення вдосконалення технологічного обладнання цеху з виробництва переестерифікованих жирів.

Розроблено змішувач, проведено основні розрахунки, наведено відповідні схеми та креслення. Основною перевагою розробленого обладнання над обладнанням, що використовується на теперішній час, є покращення якості жирів і зменшення втрат сировини.

Список використаних джерел

1. Гладкий Ф. Ф., Тимченко В. К., Демидов І. М. Технологія модифікованих жирів. Харків : Підручник НТУ «ХП», 2018. 214 с.
2. Богомолів О. В. Курсове та дипломне проєктування обладнання переробних і харчових підприємств. Київ : Вища школа, 2015. 232 с.
3. Шеманська Є. І., Радзівська І. Г. Технології рослинних олій, жирових і косметичних продуктів. Київ : Вища школа, 2020. 182 с.
4. Осейко М. І. Інноваційні технології та безпеність олієжирової продукції. *Харчова і переробна промисловість*. Київ : НУХТ, 2018. Вип. 3 (343). С. 22–24.
5. Осейко М. І. Технологія рослинних олій. Київ : ВВ «Варта», 2017. 280 с.
6. Осейко М. І. Нанотехнології ліпидовмісних оздоровчих продуктів, екстрактів і добавок у системі КТЮЛ. *Новітні технології оздоровчих продуктів харчування XXI століття*: Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 21 жовтня 2010 р.). Харків : ХДУХТ, 2017. С. 65–66.
7. Фіалковська Л. В. Ефективні способи очищення соняшникової олії від домішок. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11. Том 2. С. 26–27.
8. Сирохман І. В., Раситюк Т. М. Товарознавство смакових товарів: підручник. Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2003. 428 с.
9. Гродзинський А. М. Лікарські рослини. Енциклопедичний довідник Київ : Українська енциклопедія, 2022. 544 с.
10. Брайченко О. Україна. Їжа та історія. Київ, 2021. 189 с.



11. Paziuk V., Husarova O., Bandura V., Fialkovska L. Intensification of apple drying using convective and combined methods of dehydration. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2024. Vol. 72. No. 1. Pp. 173–182.
12. Доцяк В. С. Технологія приготування їжі з основами товарознавства продовольчих товарів : посібник. Київ, 2014. 396 с.
13. Клопотенко Є. В.: Збірник рецептур страв. Львів, 2019. 279 с.
14. Королюк Т. А. Методи контролю харчових продуктів : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2017. 146 с.
15. Берзіна С. В., Яреськовська І. І., Перминова С. Ю., Бузан Г. С., Ігнатенко А. В., Глущенко Р. О. Рекомендації щодо вимог з енергоефективності для закупівлі продукції державними органами. Критерії для енергоефективних закупівель. Під загальною редакцією д. т. н., проф. Сергійчука О. В. Київ, 2020. 104 с.
16. J.C. Wang A study on the energy performance of hotel buildings in Taiwan *Energy Build.*, 49 (2012), pp. 268–275.
17. D.E. Santiago. Energy use in hotels: a case study in Gran Canaria *Int. J. Low Carbon Technol.*, 16 (4) (2021), pp. 1264–1276.
18. S. Kasavan, R. Siron, S. Yusoff, M.F.R. Fakri. Drivers of food waste generation and best practice towards sustainable food waste management in the hotel sector: a systematic review. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.*, 29 (32) (2022), pp. 48152–48167.
19. E. Jeong, S. Jang. Effects of Restaurant Green Practices: Which Practices Are Important and Effective? (2010) [Available from: <http://digitalscholarship.unlv.edu/hhrc/2010/june2010/13> Google Scholar.
20. D. Shiming, J. Burnett. Energy use and management in hotels in Hong Kong. *Int. J. Hospit. Manag.*, 21 (4) (2002), pp. 371–380.
21. G. Xydis, C. Koroneos, A. Polyzakis. Energy and exergy analysis of the Greek hotel sector: an application. *Energy Build.*, 41 (4) (2009), pp. 402–406.
22. R. Skapa. Reverse logistics as sustainable tool in tourism industry: scope and motivation. *Eur. J. Tour. Hosp. Recreat.*, 5 (1) (2014), pp. 139–158.
23. Y. Namkung, S. Jang. Effects of restaurant green practices on brand equity formation: do green practices really matter? *Int. J. Hospit. Manag.*, 33 (2013), pp. 85–95.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2025

V. Bandura¹, L. Fialkovska²

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

²Vinnitsia Institute of Trade and Economics of State University of Trade and Economics

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF INTERESTERIFIED FATS

Summary

The article describes existing technologies for the production of transesterified fats.

The transesterification process is used to change the physicochemical properties of oil. Transesterification is the reaction of acyl exchange during the interaction of molecules of two esters. This is a method of modifying oils and fats, which allows influencing their properties by transforming triglyceride molecules.

The introduction of improvements to the technological equipment of the fat transesterification production plant is justified.

The development of a mixer is presented, basic calculations of the design equipment are carried out, and the corresponding schemes and drawings are given.

The current task is to develop new types of modified fats based on oil mixtures.

The technology for the production of mayonnaise has been improved; mixtures of refined deodorized sunflower and rapeseed oils were used as the oil base.

The article presents research data and a review of the technology for the production of transesterified fats. An improved technological scheme for the production of interesterified fats, based on the best practices of leading enterprises and the introduction of the latest equipment.

Keywords: fats, oils, raw materials, quality, technology, recipe, equipment, improvement, interesterification.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-12

УДК 663.86.054.1

І. М. Дударев¹, д-р техн. наукС. Р. Юшук¹, магістрР. Ю. Кухар², викладач

ORCID: 0000-0002-2016-5342

ORCID: 0009-0004-0663-1900

ORCID: 0009-0005-0952-1421

¹ Луцький національний технічний університет² Любешівський технічний фаховий коледж ЛНТУ

e-mail: i_dudarev@ukr.net

РОЗРОБЛЕННЯ КРАФТОВОГО НАПОЮ ДЛЯ ВЕГЕТАРІАНЦІВ

Анотація. Унаслідок збільшення у світі кількості прихильників здорового харчування та вегетаріанства потребує розширення асортименту безалкогольних напоїв з рослинної сировини. Тому мета дослідження – розробити крафтовий напій для вегетаріанців та дослідити його фізико-хімічні й органолептичні властивості. Розроблений крафтовий напій містить рецептурні компоненти: напій вівсяний, сік яблучний і чай чорний. Напій має високі органолептичні властивості, зокрема, приємний яблучний смак та запах. Густина напою – $1031 \pm 2,8$ кг/м³, уміст сухих речовин – $7,80 \pm 0,15$ % та активна кислотність (pH) 4,6. Калорійність напою 39,1 ккал/100 г, а його поживна цінність (мас. %): білки 0,62; жири 1,25; вуглеводи 6,34. Напій може бути рекомендований до впровадження на крафтових виробництвах безалкогольних напоїв та в закладах ресторанного господарства.

Ключові слова: безалкогольний напій, вівсяне молоко, сік яблучний, чай чорний, вегетаріанський напій, густина напою.

Постановка проблеми. Вегетаріанська культура має довгу історію та зумовлена культурно-етичними, релігійними та екологічними аспектами [1]. Вегетаріанці вживають рослинну їжу (фрукти, овочі, горіхи, насіння, цільнозернові продукти, бобові тощо) та утримуються від споживання всіх видів м'яса тварин. Розрізняють кілька видів вегетаріанства: ововегетаріанство (дозволено споживання яєць), лактовегетаріанство (дозволено споживання молочних продуктів), лактоово вегетаріанство (дозволено споживання яєць та молочних продуктів) [2]. Також виокремлюють ще один вид вегетаріанства – пескетаріанство, прихильники якого споживають рибу, яйця та молочні продукти [3]. Вегетаріанська дієта може мати позитивний вплив на людину, зокрема, вона сприяє покращенню фізичного здоров'я, однак можливий її негативний вплив у разі обмеженого доступу до широкого асортименту рослинної їжі [4]. Згідно з даними Academy of Nutrition and Dietetics [5], вегетаріанська дієта може забезпечити необхідну кількість поживних речовин для організму людини на всіх етапах життя за умови належного планування.

У світі спостерігається зростання популярності рослинної дієти з-поміж споживачів, що спонукає виробників продуктів харчування розробляти інноваційні вегетаріанські харчові продукти [6]. З-поміж вегетаріанських напоїв найбільш поширеним є «рослинне молоко», яке виготовляють з мигдалю, кокосу, коноплі, вівса, рису, сої тощо [7]. Для розширення асортименту вегетаріанських напоїв доцільно розглянути можливість використання й інших інгредієнтів у їхньому складі, що допоможуть покращити нутрієнтний склад напоїв та органолептичні властивості.

Аналіз останніх досліджень. Безалкогольні напої користуються значним попитом з-поміж усіх категорій споживачів. Опитування в країнах ЄС продемонструвало, що 19 % осіб віком понад 15 років вживають безалкогольні напої 1–3 рази на тиждень, а 9 % – принаймні раз на



день [8]. Дедалі більше споживачів, піклуючись про своє здоров'я, віддають перевагу напоям, що виготовлені з натуральної рослинної сировини та мають низький вміст цукру.

У науковій праці [9] рослинні напої, зокрема «рослинне» молоко, запропоновано класифікувати залежно від виду сировини на: зернові (овес, рис), бобові (соя, горох), псевдозернові (кіноа), насінні (арахіс, кунжут, соняшник), горіхові (волоські горіхи, мигдаль), фруктові (кокос). До рослинних напоїв також належать соковмісні напої, напої на солодових екстрактах і концентратах, напої на пряно-ароматичній рослинній сировині (на екстрактах, настоях, концентратах). Найбільш поширеним безалкогольним напоєм у світі є чай. Розрізняють п'ять видів чаю [10]: білий, зелений, улун, чорний та пуер. Основна відмінність між різними видами чаю – рівень окиснення листя під час оброблення (листя білого та зеленого чаю – неокиснене; листя чорного чаю – повністю окиснене) [11]. Хімічний склад готового чаю дуже складний, він містить дубильні речовини, флавоноли, алкалоїди, білки, амінокислоти, ферменти, ароматичні речовини, вітаміни та мінеральні речовини [12]. На чорний чай припадає понад 78 % світового споживання чаю [13]. Популярності також набуває «чай наступного покоління», різні види якого виготовляють із використанням свіжих або висушених трав, листя, ягід, насіння та коренів. Цей чай містить природні біоактивні сполуки, зокрема, каротиноїди, флавоноїди, фенольні кислоти, алкалоїди, кумарини, терпеноїди та сапоніни [14].

Як компонент безалкогольних напоїв досить часто використовують яблучний сік, що є джерелом біологічно активних сполук, зокрема, фітохімічних речовин, вітаміну С, харчових волокон та пектину [15]. Яблучний сік містить сухих речовин 7–12 % і мінеральних речовин (мг/100 мл) [16]: калію – 100–110; кальцію – 8,0–11,0; натрію – 2,0–4,0; фосфору – 7,0–11,0. Однак склад яблучного соку може змінюватися залежно від умов вирощування фруктів та способу виробництва соку.

Для виробників рослинних напоїв також важливе зменшення кількості інгредієнтів у складі напоїв, що можуть спричинити алергічні реакції в споживачів [17]. Якщо в напоях містяться такі інгредієнти або продукти їх перероблення (наприклад, горіхи, соя), то споживачі про це мають бути обов'язково проінформовані відповідно до вимог законодавства України [18].

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – розробити крафтовий безалкогольний напій для вегетаріанців та вивчити його фізико-хімічні й органолептичні властивості. Зокрема, визначити активну кислотність, густину та вміст сухих речовин у компонентах і композиціях розробленого напою, а також оцінити зовнішній вигляд, консистенцію, колір, смак і запах композицій напою.

Матеріали та методи. Поживна та енергетична цінність компонентів композицій напою за даними виробників подана в табл. 1. Рецептuru композицій крафтового напою для вегетаріанців подана в табл. 2. Чай чорний готували відповідно до рекомендацій збірника рецептур [19]. Компоненти напою відповідно до рецептури змішували блендером упродовж 2 хв.

Таблиця 1

Поживна та енергетична цінність компонентів напою

Компонент	Масова частка речовин, мас. %			Енергетична цінність, ккал/100 г	Виробник
	білки	жири	вуглеводи		
Напій вівсяний	1,0	2,5	6,5	52,5	ТЗОВ «Люстдорф»
Сік яблучний	0,4	0,0	10,3	43,0	СП «Вітмарк-Україна» ТОВ
Чай чорний «Basilur» (заварка)	0,0	0,0	0,0	0,0	ТОВ «Надія»

Примітка: сформовано авторами на основі даних виробників (крім заварки).



Таблиця 2

Рецептура композицій крафтового напою для вегетаріанців

Компонент	Масова частка компонентів у композиціях напою, мас. %				
	К1	К2	К3	К4	К5
Напій вівсяний	40	50	50	50	50
Сік яблучний	10	10	20	30	40
Чай чорний (заварка)	50	40	30	20	10

Примітка: розроблено авторами.

Густину компонентів напою та його композицій, а також уміст сухих речовин (далі – СР) у них визначали пікнометричним методом, згідно з ДСТУ 4855:2007 [20]. Активну кислотність (далі – рН) компонентів напою та його композицій визначали з використанням рН-метр РН-009(І)АТС. Усі досліді повторювали тричі, статистичне оброблення результатів проводили відповідно до методики [21].

Для оцінювання органолептичних властивостей композицій крафтового напою використовували експертний метод [21]. Оцінювання проходило з використанням 9-бальної гедонічної шкали (мінімальний 1 бал отримувала композиція з надзвичайно поганою якістю; максимальні 9 балів – композиція з відмінною якістю). Оброблення результатів оцінювання та визначення узгодженості думок експертів проводили відповідно до методики [21]. Комплексний показник якості Q композицій напою визначали за виразом:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \frac{P_i}{P_{\bar{oi}}}, \quad (1)$$

де m_i – коефіцієнт вагомості i -ї органолептичної властивості напою;

P_i , $P_{\bar{oi}}$ – відповідно, середня кількість балів, що отримала i -а органолептична властивість (зовнішній вигляд, консистенція, колір, смак, запах) напою, та максимальна можлива кількість балів ($P_{\bar{oi}} = 9$);

n – кількість органолептичних властивостей крафтового напою.

Коефіцієнти вагомості органолептичних властивостей крафтового напою визначали з використанням експертного методу [21].

Поживну та енергетичну цінність композицій крафтового напою визначали розрахунковим методом з урахуванням даних табл. 1–2.

Основна частина. Фізико-хімічні показники компонентів напою для вегетаріанців подано в табл. 3. Густина соку яблучного була найбільшою ($1046,2 \pm 4,6$ кг/м³), як і вміст СР ($11,44 \pm 0,10$ %). Густина ($1004,0 \pm 3,2$ кг/м³) та вміст СР ($0,50 \pm 0,01$ %) у чорному чаї були найменшими. Густина напою вівсяного була $1037,0 \pm 8,5$ кг/м³, а вміст СР у ньому – $9,27 \pm 0,15$ %.

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники рецептурних компонентів крафтового напою

Показники	Значення показників рецептурних компонентів напою		
	напій вівсяний	сік яблучний	чай чорний (заварка)
Густина, кг/м ³	$1037,0 \pm 8,5$	$1046,2 \pm 4,6$	$1004,0 \pm 3,2$
Вміст СР, %	$9,27 \pm 0,15$	$11,44 \pm 0,10$	$0,50 \pm 0,01$
Активна кислотність (рН)	$6,8 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,1$	$4,6 \pm 0,2$

Примітка: сформовано авторами.

Фізико-хімічні показники розроблених композицій крафтового напою для вегетаріанців подані в табл. 4. Густина композицій напою змінювалася в межах 1019–1037 кг/м³. Причому зі

збільшенням в рецептурі напою вмісту соку яблучного густина напою збільшувалася. Отже, найбільша густина ($1037 \pm 3,4 \text{ кг/м}^3$) була в композиції напою К5 з найбільшим умістом соку яблучного (40 мас. %). Те саме було характерне для вмісту СР у композиціях напою. Найбільший уміст СР ($9,27 \pm 0,14 \%$) був у композиції К5, а в композиції напою К1 – найменший уміст СР ($4,83 \pm 0,16 \%$).

Активна кислотність (рН) композицій крафтового напою була 4,4–5,5 (табл. 4). Найменше значення показника рН було в композиції К5. Це зумовлено найбільшим вмістом у цій композиції соку яблучного, що мав найменше значення показника активної кислотності з-поміж усіх компонентів. У композиції К1 з найменшим вмістом соку яблучного (10 мас. %) було найбільше значення показника активної кислотності (рН) 5,5.

Таблиця 4

Фізико-хімічні показники композицій крафтового напою

Показники	Значення показників композицій напою				
	К1	К2	К3	К4	К5
Густина, кг/м^3	$1019,0 \pm 5,7$	$1023 \pm 4,3$	$1027 \pm 3,8$	$1031 \pm 2,8$	$1037 \pm 3,4$
Вміст СР, %	$4,83 \pm 0,16$	$5,82 \pm 0,12$	$6,82 \pm 0,13$	$7,80 \pm 0,15$	$9,27 \pm 0,14$
Активна кислотність (рН)	$5,5 \pm 0,0$	$5,3 \pm 0,1$	$4,9 \pm 0,1$	$4,6 \pm 0,0$	$4,4 \pm 0,2$

Примітка: сформовано авторами.

На рис. 1 подана сенсорна профілограма композицій крафтового напою для вегетаріанців. Найвищий середній бал (8,2) за зовнішній вигляд був у композиції крафтового напою К4, а найнижчий (6,8) – у композиції К1. За зовнішнім виглядом експерти схарактеризували композиції напою як непрозорі однорідні рідини. Характер розподілу балів між композиціями напою за показником «консистенція» був подібним до розподілу за показником «зовнішній вигляд». Найвищий середній бал (7,8) за консистенцію отримала композиція К4, а найнижчий (6,0) – композиція К1. Консистенція усіх композицій напою була рідкою.

Колір композиції напою К1 був жовто-бежевим (рис. 2), його оцінили найнижчим балом (7,0). Колір композицій К2–К5 був світлий жовто-бежевий з різними відтінками. Їхній колір оцінили вищими балами (7,4–8,6).



Рис. 1. Сенсорна профілограма композицій крафтового напою

Примітка: сформовано авторами.

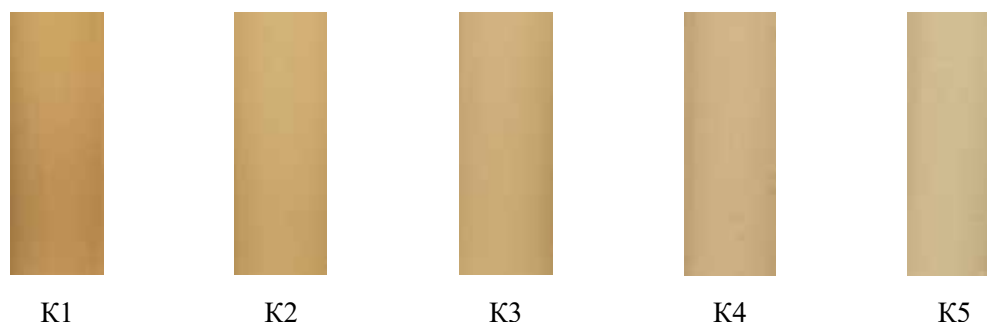


Рис. 2. Колір композицій крафтового напою для вегетаріанців

Примітка: сформовано авторами.

Найвищі бали за смак були в композиції K4 (8,4) та K3 (8,0), а найнижчий бал (7,2) – у композиції K1. Смак композиції K1 був вівсяно-яблучний. Смак у композиції K2 та K3 був яблучно-вівсяний, а в композиції K4 та K5 – присмний яблучний, що зумовлено збільшенням масової частки в рецептурі соку яблучного. Запах композицій напою зі збільшенням умісту соку яблучного змінювався з яблучно-вівсяного до яблучного. Експерти оцінили запах композицій у межах 6,4–7,4 бала. Отже, за всіма органолептичними властивостями найкращою була композиція крафтового напою K4.

Оцінювання експертами вагомості органолептичних властивостей безалкогольних напоїв дало змогу обчислити їхні коефіцієнти вагомості (рис. 3). На думку експертів, найбільш вагомим є смак напою (0,33), а найменш вагомим – запах (0,08). Оброблення даних оцінювання показало, що думки експертів були узгодженими.

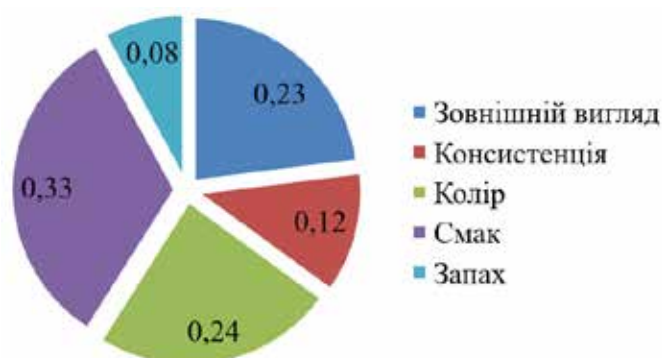


Рис. 3. Коефіцієнти вагомості m_i органолептичних властивостей напою

Примітка: сформовано авторами.

Значення коефіцієнтів вагомості органолептичних властивостей композицій напою та їхні середні бали були використані для обчислення комплексного показника якості Q композицій напою. Найбільше значення комплексного показника якості (0,917) було в композиції напою K4 (рис. 4), а найменше (0,761) – у композиції K1.

Результати обчислення поживної та енергетичної цінності композицій крафтового напою для вегетаріанців подано в таблиці 5. Зі зменшенням умісту заварки (чорного чаю) та збільшенням умісту соку яблучного в рецептурі напою масова частка білків, жирів та вуглеводів у ньому збільшувалася. Зокрема, зі збільшенням у напої масової частки соку яблучного з 10 % (K1, K2) до 40 % (K5) вміст білків, жирів та вуглеводів, відповідно, збільшувався на 22,2–50,0 %, 25,0 % та 74,4–103,0 %.

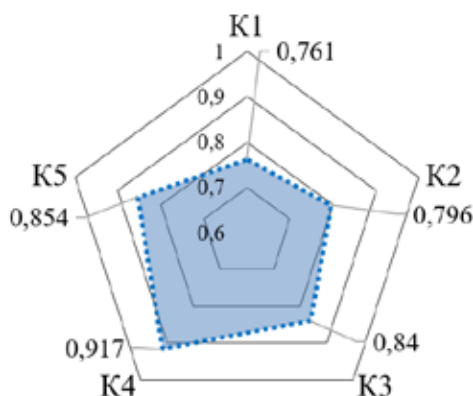


Рис. 4. Комплексний показник якості Q композицій крафтового напою

Примітка: сформовано авторами.

Таблиця 5

Поживна та енергетична цінність композицій крафтового напою

Показники	Значення показників композицій напою (на 100 г)				
	K1	K2	K3	K4	K5
Масова частка білків, %	0,44	0,54	0,58	0,62	0,66
Масова частка жирів, %	1,0	1,25	1,25	1,25	1,25
Масова частка вуглеводів, %	3,63	4,28	5,31	6,34	7,37
Енергетична цінність, ккал	25,3	30,5	34,8	39,1	43,4

Примітка: сформовано авторами.

Енергетична цінність композицій напою збільшувалася зі збільшенням вмісту соку яблучного. Порівняно з композиціями напою K1 та K2 енергетична цінність композиції напою K5 була більшою на 42,3–71,5 % (табл. 5). Найбільша енергетична цінність (43,4 ккал/100 г) була в композиції напою K5, а найменша (25,3 ккал/100 г) – у композиції K1.

Висновки. Споживачі стають дедалі вимогливішими до компонентів безалкогольних напоїв, зокрема, вони віддають перевагу напоям з натуральних рослинних компонентів, що мають високі органолептичні показники та містять корисні для організму речовини. Також у світі збільшується кількість прихильників вегетаріанства, однак асортимент безалкогольних напоїв для них на ринку потребує розширення. Урахування світових трендів на ринку напоїв дало змогу розробити крафтовий напій для вегетаріанців (композиція K4), що містить «рослинне молоко» (50 мас. %), сік яблучний (30 мас. %) та чай чорний (заварка) (20 мас. %). Цей напій має приємний яблучний смак та запах, світлий жовто-бежевий колір та рідку однорідну консистенцію. Комплексний показник якості розробленого напою становить 0,917.

Фізико-хімічні показники розробленого напою: густина $1031 \pm 2,8$ кг/м³; вміст сухих речовин $7,80 \pm 0,15$ %; активна кислотність (pH) 4,6. Напій не містить доданого цукру та барвників, масова частка поживних речовин у ньому становить (мас. %): білки 0,62; жири 1,25; вуглеводи 6,34. Енергетична цінність розробленого напою становить 39,1 ккал/100 г. Також напій містить корисні речовини, якими багаті його рецептурні компоненти (напій вівсяний, сік яблучний та чай чорний). Напій можна рекомендувати до впровадження в закладах ресторанного господарства та на крафтових харчових виробництвах.

Перспективними є подальші дослідження з визначення вмісту вітамінів та мінеральних речовин у крафтовому напої, а також можливість використання в його рецептурі інших видів «рослинного молока».

**Список використаних джерел**

1. Allès B., Baudry J., Méjean C., Touvier M., Péneau S., Hercberg S., Kesse-Guyot E. Comparison of socio-demographic and nutritional characteristics between self-reported vegetarians, vegans, and meat-eaters from the NutriNet-Santé study. *Nutrients*. 2017. № 9(9), e1023. doi:10.3390/nu9091023.
2. Salehia G., Díaz E., Redondo R. Forty-five years of research on vegetarianism and veganism: A systematic and comprehensive literature review of quantitative studies. *Heliyon*. 2023. № 9(5), e16091. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16091.
3. Choi H., Joung H.W., Choi E.K., Kim H.S. Understanding vegetarian customers: the effects of restaurant attributes on customer satisfaction and behavioral intentions. *Journal of Foodservice Business Research*. 2021. № 25(3). P. 353–376. doi:10.1080/15378020.2021.1948296.
4. Hargreaves S.M., Raposo A., Saraiva A., Zandonadi R.P. Vegetarian diet: An overview through the perspective of quality of life domains. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. № 18(8), e4067. doi:10.3390/ijerph18084067.
5. Melina V., Craig W., Levin S. Position of the academy of nutrition and dietetics: vegetarian diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2016. № 116(12). P. 1970–1980. doi:10.1016/j.jand.2016.09.025.
6. Saari U.A., Herstatt C., Tiwari R., Dedehayir O., Mäkinen S.J. The vegan trend and the microfoundations of institutional change: A commentary on food producers' sustainable innovation journeys in Europe. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. № 107. P. 161–167. doi:10.1016/j.tifs.2020.10.003.
7. Escobar-Sáez D., Montero-Jiménez L., García-Herrera P., Sánchez-Mata M.C. Plant-based drinks for vegetarian or vegan toddlers: Nutritional evaluation of commercial products, and review of health benefits and potential concerns. *Food Research International*. 2022. № 160, e111646. doi:10.1016/j.foodres.2022.111646.
8. Ahern N., Arendt E.K., Sahin A.W. Protein soft drinks: A retail market analysis and selected product characterization. *Beverages*. 2023. № 9(3), e73. doi:10.3390/beverages9030073.
9. Xie A., Dong Y., Liu Z., Li Z., Shao J., Li M., Yue X. A review of plant-based drinks addressing nutrients, flavor, and processing technologies. *Foods*. 2023. № 12(21), e3952. doi:10.3390/foods12213952.
10. Wong M., Sirisena S., Ng K. Phytochemical profile of differently processed tea: A review. *Journal of Food Science*. 2022. № 87. P. 1925–1942. doi:10.1111/1750-3841.16137.
11. Franks M., Lawrence P., Abbaspourrad A., Dando R.. The influence of water composition on flavor and nutrient extraction in green and black tea. *Nutrients*. 2019. № 11(1), e80. doi:10.3390/nu11010080.
12. Gebrewold A.Z. Review on integrated nutrient management of tea (*Camellia sinensis* L.). *Cogent Food & Agriculture*. 2018. № 4(1). doi:10.1080/23311932.2018.1543536.
13. Mao Y.-L., Wang J.-Q., Chen G.-S., Granato D., Zhang L., Fu Y.-Q., Gao Y., Yin J.-F., Luo L.-X., Xu Y.-Q. Effect of chemical composition of black tea infusion on the color of milky tea. *Food Research International*. 2021. № 139, e109945. doi:10.1016/j.foodres.2020.109945.
14. Nurmilah S., Utama G.L. A review on current trend of next generation of teas. *Food Research*. 2022. P. 1–13. doi:10.26656/fr.2017.6(5).486.
15. Vallée Marcotte B., Verheyde M., Pomerleau S., Doyen A., Couillard C. Health benefits of apple juice consumption: A review of interventional trials on humans. *Nutrients*. 2022. № 14(4), e821. doi:10.3390/nu14040821.
16. Faroqui M., Mirza S.K., Aarwal B.R., Faroqui M., Asema U.K. Physical and nutritional analysis of apple juice samples. *Analytical Chemistry: An Indian Journal*. 2009. № 8. P. 26–28.
17. Balogh-Hartmann F., Páger C., Bufa A., Madarász né Horváth I., Verzár Z., Marosvölgyi T., Makszin L. Microfluidic analysis for the determination of protein content in different types of plant-based drinks. *Molecules*. 2023. № 28(18), e6684. doi:10.3390/molecules28186684.
18. Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів : Закон України від 6 грудня 2018 року, № 2639-VIII.
19. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів, правових, нормативно-правових та інших актів для закладів ресторанного господарства. 4-те вид., переробл. та доповн. / Автор-розробник і укладач О. В. Шалимінов. Київ : Арій, 2019. 992 с.
20. ДСТУ 4855:2007. Продукція безалкогольної промисловості. Методи визначення сухих речовин. Видання офіційне. Київ: Держспоживстандарт України, 2008.



21. Дударев І. М., Кузьмін О. В. Практикум з методології наукових досліджень : навч. посіб. Одеса : Олді+, 2023. 278 с.

Стаття надійшла до редакції 16.02.2025 р.

I. Dudarev¹, S. Yushchuk¹, R. Kukhar²

¹Lutsk National Technical University

²Liubeshiv Technical Vocational College

DEVELOPMENT OF A CRAFT DRINK FOR VEGETARIANS

Summary

Due to the increasing number of supporters of healthy eating and vegetarianism worldwide, there is a need to expand the range of soft drinks made from plant-based ingredients. Vegetarian consumers are often concerned about the ingredients in their food and drink and are looking for options that meet their values and dietary preferences. Craft soft drinks made with natural, plant-based ingredients can offer a unique, flavourful experience that meets the needs of this conscious consumer group. Therefore, the aim of this study was to develop a craft soft drink for vegetarians and study its physicochemical and sensory properties. Five craft drink samples were developed, containing different proportions of oat drink, apple juice, and black tea. The physicochemical properties of the samples were determined using standard methods. The sensory properties of the samples were evaluated using an expert method. The nutritional value and caloric content of the samples were calculated. The best sample, based on sensory properties, was a drink containing 50 % oat milk, 30 % apple juice, and 20 % black tea. This soft drink had high sensory properties, including a pleasant apple taste and smell. It had a homogeneous liquid consistency and a light yellow-beige colour. Taking into account the weighting coefficients determined for the sensory properties, the complex quality index of the soft drink was calculated to be 0.917. The density of the soft drink was 1031 ± 2.8 kg/m³, the dry matter content was 7.80 ± 0.15 %, and the active acidity (pH) was 4.6. The caloric content of the developed soft drink was 39.1 kcal/100 g, and its nutritional value was as follows (wt. %): proteins 0.62, fat 1.25, and carbohydrates 6.34. The soft drink contains no added sugar and is enriched with nutrients derived from its plant-based ingredients. The developed craft soft drink can be recommended for production in the craft industry and for use in restaurants.

Keywords: soft drink, oat milk, apple juice, black tea, vegetarian drink, drink density.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-13

УДК 637.146

Д. Б. Кічура, канд. техн. наук
Р. О. Субтельний, канд. техн. наук
І. Б. Милянська, магістр

ORCID: 0000-0002-9585-4943
ORCID: 0000-0003-2919-004X
ORCID: 0009-0007-6703-4925

Національний університет «Львівська політехніка», ІХХТ, кафедра ТОП

e-mail: dariia.b.kichura@lpnu.ua

ЙОГУРТИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ КІНОА

Анотація. Останніми роками молочна промисловість збагатилася новими технологіями та продуктами рослинництва, що допомагають розширити асортимент молочної продукції. Кисломолочні продукти – це збірна назва продуктів типу айрану, йогурту, кефіру, кумису, ряжанки, сиру, сметани. Їх загальна назва виникла завдяки кисломолочному бродінню (перетворення лактози в молочну кислоту), викликаного мікроорганізмами, що входять до складу різного типу заквасок. У процесі бродіння утворюються й інші продукти, як-от: двоокис вуглецю, оцтова кислота, діацетил, ацетальдегід і деякі інші, що надають молочному продукту характерні смак та аромат. Йогурт – це кисломолочний продукт, отриманий шляхом ферментації молока за допомогою корисних бактерій, зокрема видів *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*. Підвищений уміст сухих речовин у продукті досягається двома способами – попереднім згущенням молока у вакуум-апаратах або внесенням сухого знежиреного молока. Йогурт буває натуральним і з добавками (фрукти, мед, зернові). Корисніший варіант – без цукру та штучних ароматизаторів, через свої властивості широко використовується в дієтичному харчуванні. Посеред зернових добавок зараз активно впроваджують сировину, вирощену на інших материках. Кіноа – це псевдозернова культура, багата на білок, клітковину, залізо, магній і незамінні амінокислоти, не містить глютену, тому підходить для людей із целиацією. Цей продукт має нейтральний смак і використовується в кулінарії, зокрема салатах, гарнірах, супах і десертах.

Ключові слова: йогурт, кисломолочний продукт, кіноа, молоко, закваска, екстракт стевії, технологія.

Постановка проблеми. Молочна галузь – одна з найважливіших в економіці України й загалом виробництва продуктів харчування. Молочні підприємства України за масштабами виробництва на 2020 рік посідала шосте місце у світі й входила до найбільших експортерів молочних продуктів. Кон'юнктура світового ринку завжди сприяла їх виробництву: постійне підвищення цін стимулює збільшення обсягів виробництва, а зростання кількості населення сприяє їх збереженню в тривалій перспективі. В Україні останніми роками йогурт став одним з найпоширеніших кисломолочних продуктів. Особливу популярні десертні йогурти, а також питні та біойогурти. Уперше ці кисломолочні продукти з'явилися на початку 1990-х у великих містах, переважно польського виробництва й інших країн, та не викликали великої перспективи щодо впровадження у виробництво для відрізняння асортименту молочної продукції України. До 2000 року серед кисломолочних продуктів їх частка була найменшою до 5 % усієї молочної продукції. Сьогодні саме йогурти витіснили багато інших кисломолочних продуктів, оскільки відіграють важливу роль у забезпеченні та підтримці життєдіяльності людини, у загальній структурі виробництва України сьогодні вони займають до 20 % серед молочної продукції [1–4].

З початку XXI століття проблема функціональних продуктів на основі кисломолочної сировини стала дедалі більше затребуваною. До таких напоїв отриманого продукту. Український ринок йогуртів постійно розвивається, чим тримає споживачів у тонусі, не зменшуючи заці-



кавленості, сьогодні досить багато робіт щодо виробництва йогуртів з різноманітними інгредієнтами, що мають біологічно активні властивості. Так, розширення асортименту через введення рослинних харчових компонентів буде збагачувати та покращувати їх характеристики й розширювати асортимент.

Аналіз останніх досліджень. З кожним днем населення дедалі більше починає усвідомлювати той факт, що більшість проблем, пов'язаних з харчуванням, можуть бути подолані завдяки зміні повсякденного раціону харчування. Кисломолочні продукти – це продукти підвищеної біологічної цінності й здатні його збалансувати [5–10]. Кіноа (кінва або квіноа) – традиційно вирощується в країнах Південної Америки, а саме Перу, Еквадорі, Болівії, ще 5000 років до нашої ери, її назви – «рис інків», «перуанський рис», «рисова лобода». Тривалий час вона була єдиним джерелом їжі для місцевих жителів, які називали її «золотим зерном», але, попри схожість поживних речовин, ця рослина належить не до злаків, а до овочів сімейства листових, як-от шпинат чи лобода. Ця псевдокрупа вважається органічним цільозерновим продуктом, з нею не проводять жодних генетичних досліджень – зокрема, збільшення врожаю та захисту від шкідників.

Є кілька різновидів кіноа, що різняться за кольором і смаковими відтінками, але мають легкий горіховий присмак і відмінно підходять для поєднання з різними продуктами для приготування різноманітних страв. Біла кіноа має більш ніжний і делікатний смак, схожа на кашу, добре розварюється. Чорна кіноа дещо солодша за червону, обидві більш тверді за текстурою, тому відмінно доповнює перекуси. Цю крупу справедливо називають суперфудом, за своїм складом перевершує безліч традиційних зернових: рис, кукурудза, просо. Кіноа містить 70 % вуглеводів (не містить глютену, тому люди з його непереносимістю можуть вживати її як альтернативу), 15 % білка (усі незамінні амінокислоти, тому рекомендується як частина вегетаріанської дієти. З іншого боку, кіноа має великий склад вітамінів групи В, А, С і Е, а також незамінні жирні кислоти та набір мікро- та макроелементів представлений багатим складом: калій, магній, натрій, фосфор, залізо, марганець і мідь. У кіноа міститься значна кількість харчових волокон, які стимулюють роботу кишечника, нормалізують рівень глюкози, інсуліну та холестерину як профілактичний засіб проти серцево-судинних захворювань і діабету. Кіноа містить активні сполуки кверцетин і кемпферол, так звані флавоноїди з антиоксидантними властивостями й мають антидепресивну, протизапальну, протівірусну, протиракову дію. Причому кількість кверцетину в кіноа навіть вище, ніж у типових продуктах з його високим вмістом, наприклад, журавлина. За регулярного вживання кверцетин, накопичуючись в організмі, поступово збільшує силу корисної дії. Загалом же біла кіноа містить більше заліза, червона – жирів і білків, і лише чорна вважається дієтичною.

Постановка завдання. Розширити асортимент кисломолочної продукції функціонального призначення для специфічних верст населення, вегетаріанців, удосконалити технологію з мінімальними змінами наявного виробництва. Об'єкт досліджень – технологія виробництва кисломолочного продукту з використанням суперфуду кіноа. Предмет досліджень – зразки кисломолочної продукції з різним вмістом суперфуду кіноа, на основі молока коров'ячого (ДСТУ 2661:2010) й закваски «Йогурт Vivo» (ТУУ 15.5-3060300036-001:2009), що містить стандартизовані для промислового виробництва штами молочнокислих стрептококів *Streptococcus thermophilus*, болгарської палички *Lactobacillus bulgaricus* й ацидофільної палички *Lactobacillus acidophilus*, екстракт стевії сухий (ТУ У 10.8-34352680-003-2015) як природний цукрозамінник і консервант, який має антимікробні та антигрибкові властивості.

Результати досліджень. Йогурти за своїми функціональними властивостями перевершують молоко й давно використовуються у дієтичному й лікувальному харчуванні, стимулюють неспецифічну резистентність організму, посилюють регенерацію тканин, зменшують проник-



ність судин, беруть участь у вуглеводному й мінеральному обміні, має протизапальні властивості, імуностимулювальну й жовчогінну дії. Йогурт – це кисломолочний продукт з порушеним або непорушеним згустком, виробляється з певного типу молока, підданого певній тепловій обробці, шляхом сквашування з протосимбіотичною сумішшю чистих культур термофільного молочнокислого стрептокока (*Streptococcus thermophilus*) і молочнокислої болгарської палички з додаванням різних харчових добавок. Сучасні тенденції в харчуванні потребують постійного вдосконалення наявних або розроблення нових продуктів на основі класичної сировинної бази. Проаналізувавши доступну літературну базу та актуальну проблему з виготовленням функціоналізованих продуктів харчування на молочній основі, різні види кіноа як суперфуду характеризуються як ідеальна харчова добавка. Однотипні види молока різняться, як правило, за одним чи декількома складовими компонентами [11–14], що є ознакою класифікації, решта показників однакова табл. 1. Наприклад, знежирене молоко – джерело повноцінного білка, які мають вищу біологічну цінність, що пов'язують із наявністю амінокислоти холіну, яка має виражені антисклеротичні властивості.

Таблиця 1

Хімічний склад коров'ячого молока

Молоко	Вода	Білки	Жири	Лактоза	Сахароза	Органічні кислоти	Зола
Пастеризоване	88,2	2,79	3,5	4,69	0	0,14	0,7
	89,1	2,82	2,5	4,73	0	0,14	0,7
	90,0	2,85	1,5	4,78	0	0,14	0,7
Білкове	87,4	4,3	1,0	6,4	0	0,14	0,8
Стерилізоване	88,1	2,9	3,5	4,7	0	0,14	0,7
Знежирене	91,4	3,0	0,05	4,7	0	0,14	0,7

Першочергова вимога з боку споживача – це привабливість й органолептична оцінка. Основні показники сенсорного аналізу представлені в табл. 2. Пастеризацію молочної сировини здійснювали за таких режимів теплової обробки: 100 °C без витримки; 85 °C з витримкою 5–6 хв; без термічної обробки. Виробництво йогуртів проводили за технологією: пастеризація, охолодження до температури (36 ± 1) °C, заквашування, сквашування, охолодження. Процес сквашування проводили в побутовій йогуртниці Moulinex YG230. Досліджували органолептичні та фізико-хімічні показники сировини за стандартними методиками. У процесі сквашування контролювали титровану кислотність. У готових виробках були досліджені органолептичні показники, титрована кислотність, ступінь синерезису (фільтруванням). Класичні дослідження виробництва кисломолочних напоїв виявили факт, що підвищена температура термічної обробки сировини покращує їх органолептичні властивості та здатність утримувати вологу [11–13; 15]. Під час використання як молочної сировини молока питного пастеризованого отримані вироби мали смак та аромат, характерний для йогурту. Однак зразки, виготовлені при застосуванні режимів термічної обробки, мали вади консистенції, що посилювалися пропорційно підвищенню температури пастеризації. Йогурт, отриманий із сировини, що пастеризувалася за температури 100 °C, мав борошністу консистенцію з відділенням сироватки. Найкраща консистенція та органолептичне оцінювання в продукту без теплової обробки. Ступінь синерезису в зразках з тепловою обробкою збільшувався пропорційно збільшенню температури – від 30 % до 45 % відповідно. При використанні як молочної сировини молока коров'ячого сирого вплив теплової обробки на якість готових виробів мав місце. При застосуванні режимів пастеризації отримані зразки мали чисті кисломолочні смак та аромат, характерні для йогурту. Зразок без термічної обробки мав кисломолочний смак та аромат. Кон-

систенція всіх зразків була щільна, густа. Спостерігалось незначне розшарування внаслідок збільшення масової частки жиру в молоці з 3,5 % до 1,5 %, спостерігалось незначне відділення сироватки. Дослідження синерезису виявило, що за високих температур пастеризації ступінь синерезису збільшується від 60 % до 50 %. Загальний аналіз протікання процесів сквашування виявив, що температурна обробка впливає на тривалість протікання процесу. При підвищенні температурних режимів процеси сквашування пришвидшуються до 1 години. За використання режимів теплової обробки для пастеризованого молока час, протягом якого кислотність сягала стандартного значення для йогуртів 80 Т, становив 6 годин; для необробленого відповідно 5,0 годин. При застосуванні для виробництва йогуртів у домашніх умовах молока питного пастеризованого повторна теплова обробка недоцільна, оскільки погіршує якість готових виробів. Використовуючи сире молоко, оптимальними режимами пастеризації є теплова обробка за 85 °С з витримкою 5–7 хвилин, що забезпечить отримання високоякісного продукту [15]. Тривалість сквашування обернено пропорційна температурі термічної обробки.

Таблиця 2

Органолептична оцінка експериментальних зразків

Показники	Кіноа біла	Кіноа червона	Кіноа чорна
Пастеризоване молоко 3,5 %			
Зовн. вигляд	4,2	3,8	3,9
Колір	4,2	3,9	3,6
Смак і запах	3,3	2,7	3,8
Пастеризоване молоко 1,5 %			
Зовн. вигляд	4,2	3,6	3,8
Колір	4,2	3,9	3,6
Смак і запах	3,3	2,7	3,8
Стерилізоване молоко 3,5 %			
Зовн. вигляд	4,2	3,8	3,9
Колір	4,2	3,9	3,6
Смак і запах	3,3	2,7	3,8
Знежирене молоко 0,05 %			
Зовн. вигляд	3,9	3,1	3,3
Колір	4,0	3,3	3,0
Смак і запах	3,0	2,4	3,2

Як видно з таблиці, жирність пастеризованого молока в інтервалі 1,5–3,5 % мало впливає на органолептичні характеристики кисломолочного йогурту, різниця має місце для різного типу молока за хімічним складом, так, для знежиреного молока ці показники найнижчі. Для покращення смакових властивостей і максимального збереження натуральності запропоновано додавання стевії вигляді дрібнодисперсного порошку. У перемішаний і частково охолоджений згусток вносять харчовий цукрозамінник, перемішують до рівномірного розподілу. Рівномірний розподіл забезпечується завдяки водоутримувальній здатності при інтенсивному перемішуванні. Для обґрунтування способу внесення харчового збагачувача досліджували два способи внесення: I передбачав введення суміші збагачувача на стадії заквашування, II – після заквашування на стадії перемішування, та його виду сухий порошок й у вигляді водного екстракту. У результаті експерименту встановлено, що під час введення суміші харчового збагачувача на стадії заквашування й сквашування у вигляді водного екстракту відбувалося повільне наростання кислотності, згусток утворювався погано, а в деяких випадках не утворювався. Стевія у вигляді порошку містить комплекс біологічно й фізіологічно активних речовин та



мало змінює структурні особливості кисломолочного продукту. Оскільки хімічний склад стевії – стевіозиди, амінокислоти, каротиноїди, вітаміни, флавоноїди, а також макро- й мікроелементів, які підвищують функціональні властивості йогурту та не погіршують основні характеристики йогурту впродовж 14 днів. Високий уміст біологічно й фізіологічно активних речовин у харчових добавках можуть інактивувати лактобактерії та затримувати процес сквашування. Тому введення харчового збагачувача у вигляді суміші із сиропом після охолодження й перемішування згустку дає змогу отримати продукт із заданими властивостями. Перед розливом продукт перемішують протягом 3–5 хв.

Розроблено технологію виробництва нових видів функціональних продуктів – збагачених йогуртів у лабораторних умовах, складено технологічні схеми, запропоновано технологію для виробництва продуктів у промислових масштабах.

Оскільки органолептичні характеристики одержаного продукту тісно пов'язані з технологічними параметрами та дозуванням додаткових речовин, які відповідають за підвищення функціональності останнього. Оскільки кіноа володіє специфічними властивостями саме через хімічний склад, то її кількість матиме чималий вплив на смакові рецептори. За основу брали молоко пастеризоване та стерилізоване з жирністю 3,5 %, знежирене молоко та фермерське молоко жирністю 6–6,5 %, кількість кіноа різних типів з 10 % до 40 % мас., закваска і стевія по 5 % мас. Найкраще себе зарекомендувала саме чорна кіноа, тоді червона й біла на третьому місці, тому для подальших досліджень ми обрали саме чорну кіноа та подивилися, як її кількість впливає на основні характеристики кисломолочного продукту.

Таблиця 3

Основні фізико-хімічні показники експериментальних зразків

Показник	зразок	10 % к	20 % к	30 % к	40 % к
Активна кислотність, рН	4,6	4,9	5,3	5,7	5,5
Титрована кислотність, Т	80	93	110	120	110
В'язкість, Па*с 10^{-3}	0,63	0,55	0,69	0,75	0,79
Водоутримувальна здатність, %	86	79	84	89	86

У таблиці 3 наведено основні характеристики на перший день отримання йогурту, як бачимо, ефективність підвищення концентрації кіноа як суперфуду має місце до кількості в 30 % мас., подальше збільшення до 40 % мас., не дає бажаних результатів і не дуже добре впливає на органолептичні характеристики кисломолочного продукту, можлива така кількість буде ефективною для іншого виду чи типу молока. Кислотність зростає до 30 % мас. кіноа, як активна, так і титрована, також підвищується в'язкість й водоутримувальна здатність. У харчовій промисловості цей показник доволі важливий саме для певного виду продуктів харчування, для збереження текстури та соковитості продукту. Фактори, що впливають на водоутримувальну здатність, містять хімічний склад, пористість, кліматичні умови: температура, тиск.

У процесі ферментації кислотність зростає, що насамперед відчувається під час органолептичної оцінки (див. табл. 4). Зменшення активної кислотності кінцевого продукту після 14 днів – важлива характеристика поряд зі зростанням титрованої кислотності, що пригнічує ріст патогенної мікрофлори. Подібні результати були отримані й для інших типів кіноа: біла й червона, але там кислотність була вищою в межах 2,2–3,9, а титрована кислотність для деяких зразків була більш ніж 140 Т, що дещо перевищує значення передбачені нормативними документами [13].

Під час зберігання впродовж 14 днів всі зразки нормативного документа ДСТУ 4343:2004 мають однорідну, в міру щільну ніжну консистенцію, кисломолочний смак,

Таблиця 4

Основні фізико-хімічні показники експериментальних зразків на 14 день

Показник	зразок	10 % к	20 % к	30 % к	40 % к
Активна кислотність, рН	4,8	3,9	4,5	4,9	3,9
Титрована кислотність, Т	90	115	130	140	133
В'язкість, Па*с 10^{-3}	0,77	0,69	0,75	0,79	0,82
Водоутримувальна здатність, %	89	91	93	96	93

без сторонніх присмаків, колір від білого до кремового, мабуть, завдяки стевії, з вкрапленнями. Дієтична чорна кіноа в поєднанні зі стевією надали йогурту пікантного солодкуватого смаку з легкою гірчинкою без неприємного післясмаку. В'язкість зразків з дієтичним чорним кіноа зростала прямо пропорційно до зростання кількості кіноа в кисломолочному продукті. Йогурти мали досить щільну консистенцію, біомаса накопичених мікроорганізмів разом з іншими функціональними компонентами й молочним білком забезпечують позитивний вплив на отриманий продукт з прогнозованими характеристиками.

Щодо технологічного оформлення процесу, то йогурти виготовляють термостатним і резервуарним способами. Перший відомий досить давно, отримана продукція має традиційну непопурну консистенцію. Упровадження резервуарного способу виробництва також має низку переваг: зменшення витрат ручної праці, для виробництва йогурту не потрібні термостатні камери, менші виробничі площі, недоліком цього способу вважають отримання продукту з порушеним згустком і помірною рідкою консистенцією. Переваги резервуарного способу перед термостатним лише в обсягах виробництва, тобто на великих заводах. Виробництво питного йогурту аналогічне технології виробництва йогурту з порушеним згустком, тобто згусток перед пакуванням «розбивають» до рідкої консистенції. Оскільки зараз досить популярні десертні та біойогурти, то можливо запропонувати заморожений йогурт у вигляді морозива. Або ж одержання термізованого йогурту, який підданий спеціальній термічній обробці, не має лікувального ефекту, але має високу харчову цінність через наявності біологічно активних речовин. Для подовження терміну зберігання проводять повторну термічну обробку при температурі 55–75 °С з подальшою витримкою до 5–10 хв.

Щодо мікробіологічних показників досліджуваних зразків, то після фасування на 21 день не виявлено: бактерії групи кишкової палички, патогенні мікроорганізми, дріжджі, плісняві гриби, а кількість молочнокислих бактерій в межах $6,9\text{--}8,9 \cdot 10^7$ КУО в 1 см³. Що перевищує термін зберігання такої продукції за температури ≤ 5 °С на 7 днів. Кисломолочні продукти безпечні, введення в їх рецептуру кіноа та стевії позитивно вплинуло на всі характеристики кінцевого продукту. Крім того, останні дослідження говорять про те, що кіноа містить фітоестрогени, що запобігають остеопорозу, атеросклерозу, раку грудей й іншим захворюванням, що можуть бути спричинені нестачею естрогену після менопаузи. Незважаючи на невелику кількість такої добавки, її позитивний вплив зберігатиметься.

Висновки. Кисломолочна продукція такої лінійки стає більш затребуваною споживачем і розширює асортимент кисломолочної продукції в сегменті кефірів, ряжанок, йогуртів, сирів і вершкових напоїв. За результатами більшості оцінок визначено оптимальне співвідношення 30 % мас. кіноа для одержання кисломолочного йогурту з найбільш задовільними характеристиками. Запропоновано оздоровчий продукт, який входить у раціон основних груп населення й може мати лікувальні властивості. Традиційні харчові продукти стають функціональними в результаті збагачення їх складу інгредієнтами, корисними для здоров'я людини, здатними підвищувати опірність організму до різних захворювань, покращувати фізіологічні функції, забезпечувати активне довголіття. Щоб такі продукти стали привабливішими для споживача,



вони повинні органічно увійти до складу традиційного харчування й скласти основу повсякденного раціону харчування.

Список використаних джерел

1. Івашина Л. Л., Бишовець Л. Г., Оліферчук О. Г. Ринок молочної продукції в Україні: асортимент та якість. *Інновації та технології у сфері послуг та харчування*. 2024. 4 (14). С. 16–24. [https://doi.org/10.32782/2708-4949.4\(14\).2024.3](https://doi.org/10.32782/2708-4949.4(14).2024.3)
2. Грек О. В., Скорченко Т. А. Технологія комбінованих продуктів на молочній основі : підруч. Київ : НУХТ, 2012. 362 с.
3. Скорченко Т. А., Поліщук Г. Є., Грек О. В., Кочубей О. В. Технологія незбираномолочних продуктів. НП. Вінниця : Нова книга. 2005. 264 с.
3. Дідух Н. А., Чагаровський О. П., Лисогор Т. А. Заквашувальні композиції для виробництва молочних продуктів функціонального призначення; ОНАХТ. Одеса : «Поліграф», 2008. 234 с.
4. Сімахіна Г. О., Українець А. І. Інноваційні технології та продукти. Оздоровче харчування : НП. Київ : НУХТ, 2010. 294 с.
5. Ahmed, J., Thomas, L., & Arfat, Y. A. Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food Research International*. 2019. Vol. 116. pp. 302–311. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.039>
6. Kumar, R., Sharma, G., Sharma, A., Kumar, A., Shukla, S.K., Paul, B., Pandey, N.K., & Singh A. Cessible bioactive compounds and nutritional profile of quinoa (*Chenopodium quinoa willd*). *Marumegh*. 2022. Vol. 7. No 3. pp. 10–15.
7. Rollán, G. C., Gerez, C. L., & LeBlanc, J. G. Lactic fermentation as a strategy to improve the nutritional and functional values of pseudocereals. *Frontiers in Nutrition*. 2019. Vol. 6. pp. 1–16. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00098>
8. Ujiroghene, O. J., Liu, L., Zhang, S., Lu, J., Zhang, C., Pang, X., & Lv, J. Potent α -amylase inhibitory activity of sprouted quinoa-based yoghurt beverages fermented with elected anti-diabetic strains of lactic acid bacteria. *RSC Advances*. 2019. Vol. 9. pp. 9486–9493. <https://doi.org/10.1039/C8RA10063B>
9. Xueyong Zhou, Ting Yry, Zuofu Wei, Liyan Yang, Lihong Zhang, Baomei Wu, Weizhong Liu, & Peng Peng. Tea-making technology by using quinoa raw materials. *Food Science and Technology*. 2023. Vol. 43. <https://doi.org/10.1590/fst.117422>
10. Болгова Н. В., Самохіна Є. А. Дослідження показників якості кисломолочних напоїв з використанням борошна кіноа. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2023. Випуск 1 (51). С. 9–13. <https://doi.org/10.32782/msnay.2023.1.2>
11. Шаблій Л. М. Технологія переробки молока 2019. Київ : Кондор. 308 с.
12. Пелих В. Г., Ковбасенко В. М., Балабанова І. О. Технологія переробки молока. НМП. 2021. Київ : Олді. 166 с.
13. Головка М. П., Власенко І. Г., Головка Т. М., Семко Т. В. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. НП. 2021. Київ : Світ книги. 290 с.
14. Поліщук Г. С., Кочубей-Литвиненко О. В., Осмак Т. Г., Басс О. О. Інноваційні харчові інгредієнти у технологіях молочних і молоковмісних продуктів. НП. 2020. Київ : НУХТ. 196 с.
15. Catherine Atkinson *The Vegan Dairy*. 2020. NY: Anness Publishing. 240p.

Стаття надійшла до редакції 20.02.2025 р.

**D. Kichura, R. Subtelny, I. Mylianovska***National University "Lviv Polytechnic", ICCT, Department of TOP***FUNCTIONAL YOGURTS BASED ON QUINOA*****Summary***

In recent years, the dairy industry has been enriched with new technologies and plant products, which has allowed to expand the range of dairy products. Fermented milk products are a collective name for products such as ayran, yogurt, kefir, koumiss, fermented baked milk, cheese, sour cream. Their common name arose due to lactic acid fermentation (conversion of lactose into lactic acid) caused by microorganisms that correspond to different types of starter cultures. During the reproduction process, other products are also developed, such as: carbon dioxide, acetic acid, diacetyl, acetaldehyde and some others, which give the dairy product a characteristic taste and aroma. Yogurt is a fermented milk product obtained by fermenting milk with the help of beneficial bacteria, in particular the species *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilic*. The increased content of dry matter in the product is achieved in two ways – by pre-condensing milk in vacuum devices or by adding skimmed milk powder. Yogurt can be natural and with additives (fruit, honey, cereals). A more useful option is without sugar and artificial flavors, due to its properties it is widely used in dietary nutrition. Among grain additives, raw materials grown on other materials are now actively introduced. Quinoa is a pseudo-grain culture, rich in protein, fiber, iron, magnesium and essential amino acids, does not contain gluten, therefore it is suitable for people with celiac disease. This product has a neutral taste and is used in cooking, in particular: salads, side dishes, soups and desserts.

Regarding the microbiological indicators of the studied samples, after packaging for 21 days, no: *Escherichia coli* bacteria, pathogenic microorganisms, yeast, mold fungi were detected, and the number of lactic acid bacteria was within 6.9–8.9 10⁷ CFU in 1 cm³. Which exceeds the shelf life of such products at a temperature of ≤ 5 °C by 7 days. Fermented milk products are safe, the introduction of quinoa and stevia into their formulation had a positive effect on all characteristics of the final product. In addition, recent studies suggest that quinoa contains phytoestrogens that prevent osteoporosis, atherosclerosis, breast cancer and other diseases that can be caused by estrogen deficiency after menopause. Despite the small amount of such an additive, its positive effect will still be preserved.

Fermented milk products of this line are becoming more popular with consumers and are expanding the range of fermented milk products in the segment of kefir, fermented baked milk, yogurt, cheese and cream drinks. According to the results of most assessments, the optimal ratio of 30 % by weight of quinoa for obtaining fermented milk yogurt with the most satisfactory characteristics has been determined. A health product is proposed, which is included in the diet of the main population groups and may have medicinal properties. Traditional food products become functional as a result of enriching their composition with ingredients that are beneficial to human health, capable of increasing the body's resistance to various diseases, improving physiological functions, and ensuring active longevity. In order for such products to become more attractive to the consumer, they must organically enter into the traditional diet and form the basis of the daily diet.

Keywords: yogurt, fermented milk product, quinoa, milk, starter culture, stevia extract, technology.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-14

УДК 004.652.4664:637.521:637.04

І. П. Паламарчук^{1,2}, д-р. техн. наук

Ф. Юанься, аспірантка

Н. П. Загорко², канд. техн. наукВ. В. Бочарнікова¹, студентка

ORCID: 0000-0002-0441-6586

ORCID: 0000-0002-4238-1847

ORCID: 0000-0003-4828-5343

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України² Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: vibroprocessing@gmail.com

ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗРАЗКІВ КИТАЙСЬКИХ КОВБАС ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ «ФАКТОРНИХ ПЛОЩ» ЗА ВМІСТОМ МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ

Анотація. Серед китайських можна відзначити сосиски з м'яса, які стійкі до зберігання; ковбаси з нежирного м'яса із сильними приправами; солоні, тверді та висушені на повітрі пивні ковбаси; солодкі ковбаси зі смаком сичуані та гострі ковбаси з кантонським смаком. До недоліків технологій виготовлення таких ковбас зараховують тривалий часу сушіння, високу залежність від температури та вологості, що впливають на якість і смак продукту; недостатньо високу продуктивність виробництва продукції. Тому *метою* наукової праці було обрано пошук та реалізацію ефективної оцінки якісних характеристик китайських ковбас. При створенні математичної моделі висунуто *гіпотезу про те*, що визначальні параметри продукції створюють відповідні якісні простори, взаємодія яких формує властивості продукції. Розроблений автором метод оцінювання якісних характеристик продукції передбачає застосування безрозмірних критеріїв оцінки, які можна отримати при їх співвідношенні з нормативними або рекомендованими характеристиками. Критеріями оцінки досліджуваних китайських ковбас обрано коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості та коефіцієнт відповідності граничним нормативним величинам, які реалізують загальнорегламентовані критерії якості для цієї продукції. За результатами моделювання виявилось, що за вмістом мінеральних компонентів незадовільна оцінка стосується ковбас овочевої та свинячої звичайної. Водночас зразки ковбас кантонської та пивної показують позитивну зміну динаміки якісних параметрів.

Ключові слова: геометричні моделі якості, кантонська та пивна ковбаси, якісні характеристики, нормативні параметри, мінеральні речовини

Постановка проблеми. Ковбасні вироби вже давно посідають важливе місце в раціоні людини, будучи джерелом високоякісного білка та поживних речовин. Завдяки широкому спектру смаків і текстур ковбаси є популярним продуктом у багатьох кухнях світу. Дефіцит поживних елементів, зокрема білків і вітамінів групи В, необхідних для енергетичного обміну та імунної функції, може підвищити рівень захворювань, послабити імунітет і знизити загальну продуктивність населення, забезпечуючи організм важливими мікроелементами, як-от залізо, вітаміни групи В та цинк, що відіграють ключову роль у профілактиці. Мікроелементи Ca, Mg і Fe відіграють важливу фізіологічну роль у здоров'ї людини: кальцій необхідний для розтягування та скорочення м'язів, а також для росту кісток і зубів; магній може регулювати людські нерви та м'язи та брати участь у підтримці білкового й жирового обміну; залізо виконує кровотворну функцію в організмі людини, синтезує цитохроми та різноманітні ферменти, відіграє роль у транспортуванні кисню й поживних речовин у крові, бере участь в утворенні гемоглобіну й у процесі кровоутворення. Наявність натрію сприяє нормалізації кров'яного тиску, нормальній роботі нервів і м'язів в організмі, а також може регулювати воду й проникнення в організм елементів, що дестабілізують кислотно-лужну рівновагу.

Так, варто зазначити, що середній уміст заліза в організмі здорових дорослих чоловіків становить 50 мг/кг, а в жінок — трохи менш ніж 35 мг/кг. На кальцій припадає близько 1,7 % маси тіла людини, 99 % у вигляді гідроксифосфату кальцію в кістках і зубах і 0,1 % у крові. Уміст магнію в організмі людини становить близько 0,05 % маси тіла, хоча такий мікроелемент є одним із найбільш важливих поживних речовин для живих істот: 50 % магнію в організмі людини відкладається в кістках, потім усередині клітин, і лише 2 % – у крові [1].

Як об'єкт досліджень у науковій роботі використано 5 зразків китайських ковбас, зважаючи на особливості стану харчової промисловості в досліджуваному регіоні. Для оцінки якості харчової продукції, як правило, використовують експертну оцінку за органолептичними характеристиками. Така оцінка відзначається суб'єктивним характером ухвалення рішення, обмеженою кількістю використаних параметрів оцінки, відсутністю нормативної межі або рекомендації, що регламентується або обґрунтована досить великим обсягом досліджень. З огляду на це, набуває *актуальності* завдання ефективної оцінки якісних характеристик ковбасної продукції та формування перспективних напрямів розвитку цієї галузі. Розроблений метод математичного моделювання базується на параметрах оцінки, які є необмеженими за кількістю, що дає змогу адекватно оцінити якість продукції.

Аналіз останніх досліджень. Воєнні дії в Україні сприяють загостренню продовольчої кризи, проблеми глобального забезпечення продовольства, зниженню доступності багатьох важливих продуктів, що позначається на раціонів харчування мільйонів людей та підвищує важливість оцінки якості харчових продуктів [2]. Підвищення біологічної цінності, що можна відзначити вмістом мінеральних компонентів у харчовій продукції має вирішальне значення для забезпечення того, щоб харчові продукти були поживними та корисними для здоров'я [3].

Зважаючи на досліджуваний асортимент, ковбасні вироби зручні в зберіганні та використанні, що робить їх важливим елементом харчування як у домашніх умовах, так і в закладах громадського харчування. Різноманіття китайських ковбас становлять сосиски з гладким м'ясом, ковбаси тривалого зберігання, пісні ковбаси із сильними смаковими приправами та солоні, тверді й жувальні висушені на повітрі ковбаси та багато інших. Традиційні китайські сосиски готують холодною зимою і можуть зберігатися більш ніж 3 місяці та при заморожуванні в холодильнику – до 1 року, серед яких за особливостями смакових якостей відзначають сичуанські «гострі» та кантонські «солодкі» ковбаси [4].

Технології виготовлення таких ковбас здійснюється шляхом природного або коптільного сушіння, прямого розтирання будь-якого м'яса тварин, нутрощів або згорнутої крові в пасту або внаслідок змішування з крохмалем; забезпечення достатньо тривалої теплової та масообмінної обробки; композитного сушіння при застосуванні сонячної енергії [5].

Ковбаса по-кантонськи виготовляється зі свіжого або замороженого м'яса як основної сировини з додаванням цукру, солі, витриманого вина, що становить у Китаї одну з трьох традиційних фірмових страв у провінції Гуандун. Застосування процесів маринування, клізми, сушіння, запікання; наявність летких речовинами, які утворюються в результаті окислення жиру та деградації білка, забезпечують специфічність смаку такої продукції [6]. Технологія обробки та зберігання кантонської ковбаси, а також вплив мінеральних компонентів становить основну причину унікальних смакових досліджуваного продукту [7]. Додавання до ковбас побічного продукту бродіння лікеру збільшило вміст ефірів і спиртів, введення зерна дистилятора до ковбаси значно прискорило деградацію білка, збільшило виробництво вільних амінокислот у ковбасі та покращило смак кантонської ковбаси [8; 9].

Проте високий уміст жиру й холестерину в традиційних свинячих ковбасах, відсутність водорозчинних вітамінів та мінералів, споживання більшої кількості свинячих ковбас може легко призвести до таких захворювань, як гіпертонія та атеросклероз [10].



Так, для підвищення рівня життя людей у структурі харчування дедалі більше уваги надається натуральності, поживності та корисності їжі, що реалізується при додаванні до продукції рослинних домішок для збільшення вмісту амінокислот, інгредієнтів морепродуктів та сировини тваринного походження [11; 12]; змішування кількох таких інгредієнтів, що дає змогу створити збалансовану за вмістом жирів, вуглеводів та амінокислот продукцію [13; 14].

Формулювання мети та постановка завдання. На основі вищезазначеного *метою наукової роботи* є визначення найбільш прийняттого сорту серед досліджуваних китайських ковбас залежно від умісту мінеральних компонентів шляхом застосування необхідної бази експериментальних досліджень та математичного моделювання методом факторних площ.

Для виконання поставленої мети виконано такі завдання:

- представлення порівняльних характеристик у вигляді безрозмірних комплексів;
- вибір критеріїв оцінки для адекватної оцінки стану досліджуваних зразків, використовуючи експериментальну базу даних;
- розрахунок необхідних безрозмірних комплексів та побудова площинних геометричних моделей якості;
- здійснення оцінку досліджуваних зразків китайських ковбас.

Основна частина. Експериментальні дослідження проводили з наступними зразками м'ясопродуктів: ковбаса свиняча звичайна (зразок 1); ковбаса овочева (зразок 2); кантонська ковбаса (зразок 3); ковбаса пивна (зразок 4); пивна ковбаса на основі свинини та яловичини (зразок 5).

За даними експериментальних досліджень у табл. 1 розмістили характеристики досліджуваних зразків ковбас за вмістом мінеральних компонентів.

Для переведення параметрів для порівняльної оцінки в безрозмірні комплекси використовували відношення між величинами характеристик продукції R_i та їх нормативними або рекомендованими значеннями R_n . Коли відкласти ці величини по діагоналях певної геометричної фігури, то очевидно, що на площині вона відображається у вигляді багатокутника, кількість кутів або сторін якого відповідає кількості параметрів [15; 16]. При цьому правильний багатокутник будується за нормативними характеристиками, які є однаковими та рівні одиниці; а при використанні часткових величин для поточних параметрів зразків факторні площі представляються у вигляді неправильних багатокутників.

Таблиця 1

Вміст мінеральних компонентів у досліджуваних сортах ковбас

№ з/п	Мінеальні компоненти, мг	Нормативні дані	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
1	Ca	10–50	14	63	5	8	27
2	Mg	5–25	52	36	24	13	19
3	Na	700–1200	2309.2	888	1477.9	1240	732
4	K	200–400	453	231	356	253	244
5	Fe	1–2	5.8	3.72	2.8	0.76	1.73
6	Zn	1–3	7.61	1.46	2.62	1.72	2.21
7	Se	10–30	8.77	7.4	7.02	20.9	17.4
8	Cu	0.1–0.3	0.31	0.25	0.07	0.05	0.103
9	Mn	0.02–0.1	0.36	0.725	0.04	0.032	0.155
10	P	100–200	198	225	173	103	135

При розрахунку площ неправильних багатокутників використали метод розбивання фігури на трикутники, використовуючи складену програму обчислень. Так для 10 параметрів шукана площа становить [15]:

$$S_{10} = 0,5 \sin \alpha \cdot [R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_6 + R_6 \cdot R_7 + R_7 \cdot R_8 + R_8 \cdot R_9 + R_9 \cdot R_{10} + R_{10} \cdot R_1] \quad (1)$$

Площі правильних багатокутників на відображених розрахункових графічних моделях демонструють нормований простір параметрів під час оцінювання відповідного сорту ковбаси, площа якого становить:

$$S_n = \frac{m R_n^2 \sin^2 \left(\frac{180}{m} \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{180}{m} \right)} = 0,5 m R_n^2 \sin \left(\frac{360}{m} \right) \quad (2)$$

де m – кількість кутів або сторін багатокутника; a – величина сторони багатокутника, яку можна знайти через напівдіагональ R_n як: $a = 2 R_n \sin \left(\frac{180}{m} \right)$.

Для оцінювання характеристик ковбас за вмістом мінеральних компонентів використали 10 параметрів, тому відповідна нормована факторна площа становить: $S_{n10} = 0,5 \cdot 10 \cdot \sin 36 = 2,939$ ум. од². ум. од².

Для оцінки можливих відхилень характеристик продукції від граничних (максимальних) нормативних або рекомендованих величин використовували розроблений коефіцієнт відповідності нормативної границі якості:

$$k_{\text{вгн}} = \frac{\sum f_i}{n} \quad (3)$$

де $f_i = F_i / F_{\max}$; F_i – дійсне значення поточного параметра; $F_{\max}$ – максимальне значення нормованого параметра (табл. 2); n – кількість поточних параметрів для оцінювання.

Для двобічного оцінювання при використанні характеристик, що представлені в таблиці 1, розробили й запропонували коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості:

$$k_{\text{вія}} = \frac{S_i}{S_c} \quad (4)$$

де S_c – середня величина нормованого інтервалу; S_i – факторний простір поточних параметрів.

Цей критерій оцінки показує, наскільки наближається комплекс показників якості зразка продукту нормативному інтервалу якості [5], що регламентовані для досліджуваного зразка ковбаси за певного факторного простору, що визначають алгебраїчно при наближенні отриманого результату до одиниці або геометрично за асиметрією отриманої площі багатокутника відносно правильного, тобто нормованого.

$$k_{\text{вія}} = \frac{S_i}{S_c} \mapsto 1 \quad (5)$$

Для розрахунку означених параметрів складали відповідну комп'ютерну програму для автоматизації розрахунків та побудови графічних моделей.

Відповідно до експериментальних даних для ковбаси кантонської (рис. 1) провели розрахунок основних показників для побудови математичної моделі (табл. 2) за вмістом мінеральних компонентів.

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 2), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка № 3 ковбаси кантонської у результаті двобічного оцінювання (рис. 2) за вмістом мінеральних компонентів. Геометричні моделі для зразків



Рис. 1. Зразки ковбас по-кантонськи

Таблиця 2

Розрахунок параметрів якості ковбаси кантонської (зразок 3) за вмістом мінеральних компонентів

№ з/п	Показник, мг	Норма			Характеристики якості зразка продукції					
		F_c	R , ум. од.	F_{max}	f_i	R_i , ум. од.	S_c , ум. од. ²	S_i , ум. од. ²	$k_{вия}$	$k_{вгн}$
1	Ca	30	5	50	0,1	0,167	2,939	2,54	0,864	0,719
2	Mg	15	24	25	0,96	1,6				
3	Na	950	1477.9	1200	1,232	1,556				
4	K	300	356	400	0,89	1,187				
5	Fe	1,5	2.8	2,0	1,4	1,867				
6	Zn	2,0	2.62	3,0	0,873	1,31				
7	Se	20	7.02	30	0,234	0,351				
8	Cu	0,2	0.07	0,3	0,233	0,35				
9	Mn	0,06	0.04	0,1	0,4	0,667				
10	P	150	173	200	0,865	1,153				

Примітка: F_c – середня величина нормованого параметра, що оцінюється; F_{max} – максимальне значення нормованого параметра; $R = 1,0$ – величина нормованого параметра в умовних одиницях; F_i – дійсне значення поточного параметра; R_i – поточні параметри, що представлені в ум. од.; S_i – факторний простір поточних параметрів, що визначається площею неправильного багатокутника, ум. од.²; S_n – нормативний факторний простір: для двобічної оцінки $S_n = S_c$, ум. од.²; $k_{вия}$ – коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості; $k_{вгн}$ – коефіцієнт відповідності нормативам якості.

№ 1 та № 2 графічно не представляли, результати їх аналітичного аналізу показали у результативній таблиці 5.

Відповідно до експериментальних даних для ковбаси пивної (табл. 3) провели розрахунок основних показників для побудови математичної моделі (рис. 3). Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 3), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка № 4 ковбаси пивної в результаті двобічного оцінювання (рис. 3) за вмістом мінеральних компонентів.

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 4), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка № 5 ковбаси пивної на основі свинини та яловичини в результаті двобічного оцінювання (рис. 4) за вмістом мінеральних компонентів.

Відповідно до експериментальних даних для ковбаси пивної (табл. 3) провели розрахунок основних показників для побудови математичної моделі (рис. 3). Використовуючи розрахунок

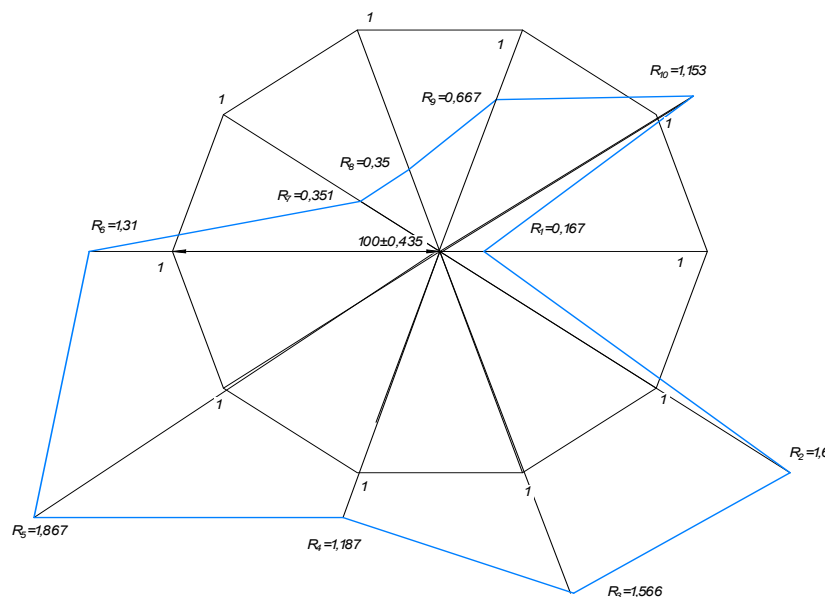


Рис. 2. Математична модель якості досліджуваного зразка № 3 ковбаси кантонської при використанні двобічної оцінки факторного простору за вмістом мінеральних компонентів

Таблиця 3

Розрахунок параметрів якості ковбаси пивної (зразок 4) за вмістом мінеральних компонентів

№ з/п	Показник, мг	Норма			Характеристики якості зразка продукції					
		F_c	R , ум. од.	F_{max}	f_i	R_i , ум. од.	S_c , ум. од. ²	S_i , ум. од. ²	$k_{вия}$	$k_{вгн}$
1	Ca	30	8	50	0,16	0,267	2,939	1,4	0,476	0,499
2	Mg	15	13	25	0,52	0,867				
3	Na	950	1240	1200	1,033	1,305				
4	K	300	253	400	0,633	0,843				
5	Fe	1,5	0.76	2,0	0,38	0,507				
6	Zn	2,0	1.72	3,0	0,573	0,86				
7	Se	20	20.9	30	0,697	1,045				
8	Cu	0,2	0.05	0,3	0,167	0,25				
9	Mn	0,06	0.032	0,1	0,32	0,533				
10	P	150	103	200	0,515	0,687				

кові значення поточних параметрів R_i (табл. 3), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка № 4 ковбаси пивної в результаті двобічного оцінювання (рис. 3) за вмістом мінеральних компонентів.

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 4), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка № 5 ковбаси пивної на основі свинини та яловичини в результаті двобічного оцінювання (рис. 4) за вмістом мінеральних компонентів.

Використовуючи результати математичного моделювання методом факторних просторів, отримані критерії оцінки якості досліджуваних зразків ковбас розмістили в таблиці 5.

Очевидно, що за результатами оцінки якісних властивостей ковбас за вмістом мінеральних компонентів найкращі характеристики виявились у зразка № 5 ковбаси пивної на основі свинини та яловичини: коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості $k_{вия} = 0,965$ (табл. 5), тобто найбільш близько наближається до 1 порівняно з іншими досліджуваними сортами ков-



Таблиця 4

Розрахунок параметрів якості ковбаси пивної на основі свинини та яловичини (зразок 5)
за вмістом мінеральних компонентів

№ з/п	Показник, мг	Норма			Характеристики якості зразка продукції					
		F_c	R , ум. од.	F_{max}	f_i	R_i , ум. од.	S_c , ум. од. ²	S_i , ум. од. ²	$k_{вия}$	$k_{вгн}$
1	Ca	30	27	50	0,54	0,9	2,939	2,82	0,96	0,727
2	Mg	15	19	25	0,76	1,267				
3	Na	950	732	1200	0,61	0,771				
4	K	300	244	400	0,61	0,813				
5	Fe	1,5	1.73	2,0	0,865	1,153				
6	Zn	2,0	2.21	3,0	0,737	1,105				
7	Se	20	17.4	30	0,58	0,87				
8	Cu	0,2	0.103	0,3	0,343	0,515				
9	Mn	0,06	0.155	0,1	1,55	2,583				
10	P	150	135	200	0,675	0,9				

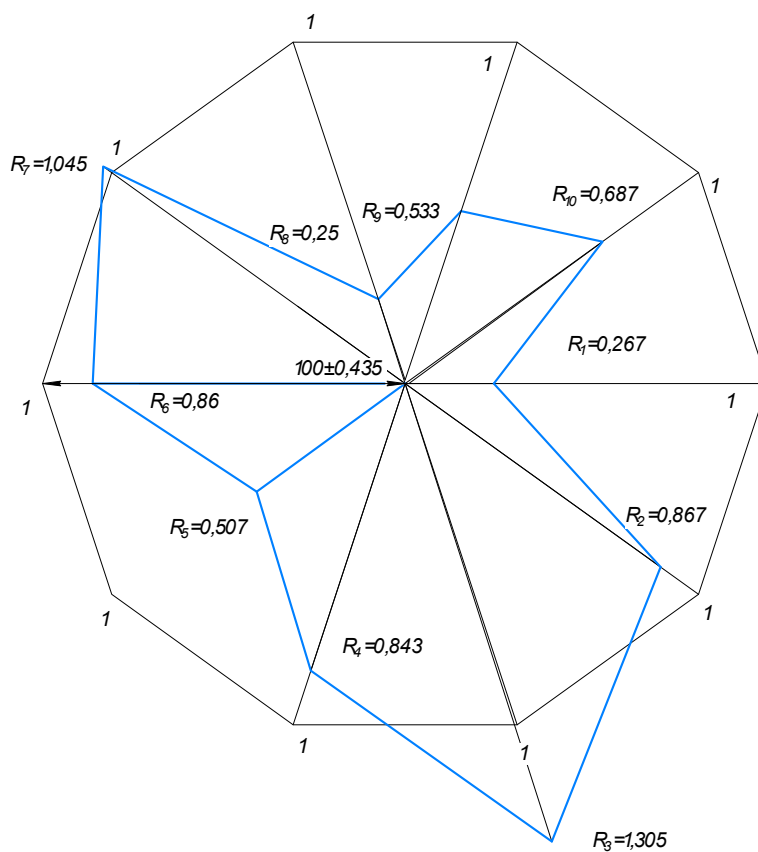


Рис. 3. Математична модель якості досліджуваного зразка № 4 ковбаси пивної при використанні двобічної оцінки факторного простору за вмістом мінеральних компонентів

бас, а коефіцієнт відповідності нормативним границям $k_{вгн} = 0,727$ для цієї ковбаси, тобто має певний запас до максимального граничного значення.

Найгірші характеристики виявились у ковбаси овочевої (зразок № 2). Так, для цього сорту ковбаси коефіцієнт відповідності нормативної границі в 4,72 раза перевищує середній нор-

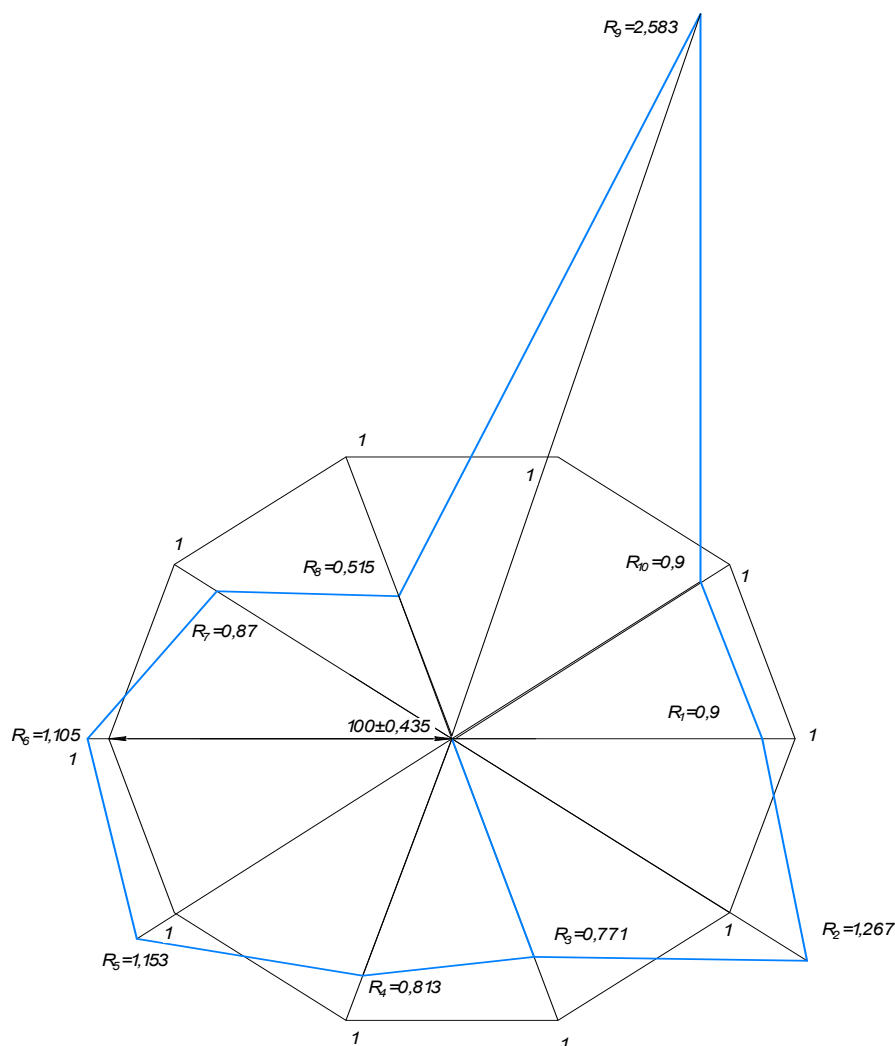


Рис. 4. Математична модель якості досліджуваного зразка № 5 ковбаси пивної на основі свинини та яловичини при використанні двобічної оцінки факторного простору за вмістом мінеральних компонентів

Таблиця 5

Критерії оцінки якості досліджуваних зразків ковбас за вмістом мінеральних компонентів

Метод оцінки	Факторна площа		Характеристики якості плодів	
	S_c , ум. од ²	S_n , ум. од ²	$k_{вля}$	$k_{вгн}$
<i>Зразок № 1: ковбаса свиняча звичайна</i>	2,939	10,35	3,522	1,825
<i>Зразок № 2: ковбаса овочева</i>	2,939	13,87	4,72	1,582
<i>Зразок № 3: кантонська ковбаса</i>	2,939	2,54	0,864	0,719
<i>Зразок № 4: ковбаса пивна</i>	2,939	1,4	0,476	0,499
<i>Зразок № 5: пивна ковбаса на основі свинини та яловичини</i>	2,939	2,82	0,96	0,727

Примітка: S_n – факторна площа нормативних параметрів, що визначалася за однобічною оцінкою; S_n – факторна площа поточних негативних або позитивних параметрів, що визначалася за однобічною оцінкою; S_c – середня факторна площа, що визначалася за двобічною оцінкою; $k_{яз}$ – коефіцієнт зростання якості; $k_{вн}$ – коефіцієнт відповідності нормативам якості; $k_{вля}$ – коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості.

мативний показник та в 1,582 раза в середньому розрахунку перевищує граничні нормативні характеристики (табл. 5). Наближається до останнього сорту ковбас за негативними характеристиками ковбаса свиняча звичайна (зразок 1), для якої $k_{вля} = 3,522$ та $k_{вгн} = 1,825$, причому коефіцієнт відповідності нормативної границі є більшим, ніж для ковбаси овочевої (зразок № 2), що показано на рис. 5.

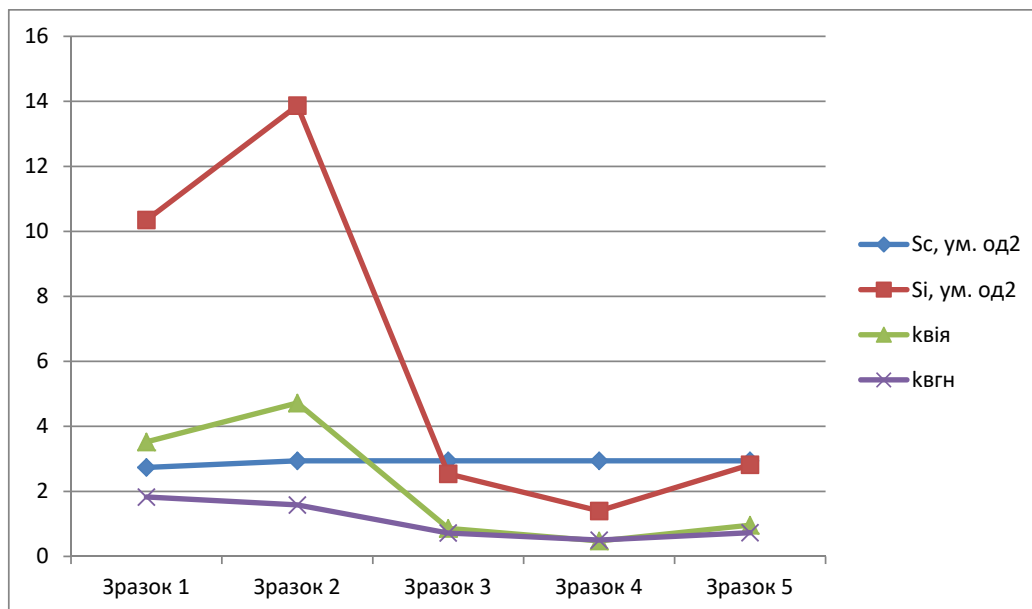


Рис. 5. Порівняльний аналіз зміни критеріїв оцінки якості досліджуваних зразків ковбас за вмістом мінеральних компонентів

Висновки. За результатами проведених досліджень очевидно, що факторний простір овочевої ковбаси (зразок 2) значно перевищує нормативні показники для всіх проведених методів оцінки; ковбаса свиняча звичайна (зразок 1) для методів оцінки за загальними характеристиками її харчової цінності та вмістом мінеральних компонентів майже повторює негативну динаміку, як і для овочевої ковбаси; зразок ковбаси свинячої звичайної показує аномальне перевищення допустимого вмісту шкідливих компонентів, які були представлені для оцінки; зразки ковбас 3, 4 та 5 для всіх методів оцінки показують позитивну зміну динаміки використаних критеріїв оцінки.

Список використаних джерел

1. Palamarchuk, I., Yuanxia, F., Zhuravel, D., Petrychenko, I., Blishch, R., Holovatyuk, A., Domin, O., & Kostiuk, T. Spectroscopic assessment and quantitative analysis of the trace element composition of vegetable additives to meat products. In *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2024. Vol. 18, 480–496. <https://doi.org/10.5219/1965>
2. Priss, O. Introduction: Focus on food system challenges. In *Food Technology Progressive Solutions*, 2024. (pp. 1–3). <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-4-5.introduction>
3. Priss, O., Pugachov, M., Pugachov, V., Yaremko, I., & Shchabelska, V. (). The Development of the World Economy and the Impact of the Global Food Crisis 2022-2023. *Economic Affairs*, 2023. 68 (1). 35–42. <https://doi.org/10.46852/0424-2513.1s.2023.5>
4. Jie G. Process optimization of mixed chicken, duck and pork Cantonese sausage[D]. Yunnan Agricultural University. 2023. <http://dx.doi.org/10.27458/d.cnki.gynyu.2023.000026>
5. He L, Yu CH., Mingguo L., et al. Optimization and Flavor Analysis of Sichuan Sausage Seasoning Formula[J]. *food industry science and technology*, 2017. 38 (20). 221–225. <http://dx.doi.org/10.13386/>

j.issn1002-0306.2017.20.039

6. Feibai Zh., Weizheng S., Mouming Zh.. Formation mechanism of volatile flavor compounds in Cantonese sausage and the effects of storage and cooking [J]. Food and Fermentation Industries, 2012. 38(3). 17–22. <http://dx.doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2012.03.023>
7. Mikami N., Tsukada Y., Pelpolage S., et al. Effects of sake lees (Sake-kasu) supplementation on the quality characteristics of fermented dry sausages[J]. Heliyon, 2020. 6(2). 03379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03379>
8. Xin N., Hongfan Ch., Jingjing M., et al. Changes of volatile flavor compounds in Cantonese sausages during air-drying period of sauce-flavored liquor[J]. Food & Machinery. 2023/ 39 (12)/ 2-8. <http://dx.doi.org/10.13652/j.spjx.1003.5788.2023.81083>
9. Yuhe W. Process optimization of chickpea composite fish sausage and analysis of quality characteristics during storage period[D]. Xinjiang Agricultural University, 2021. <http://dx.doi.org/10.27431/d.cnki.gxnyu.2021.000725>
10. Xiaopan F., Yaohua G., Lanxin Y., et al. Effects of vegetables on the contents of amino acids, fatty acids, biogenic amines and nitrosamines in fermented sausages [J]. food science and technology, 2016. 41 (05). 108–115. <http://dx.doi.org/10.13684/j.cnki.spkj.2016.05.021>
11. Jiao W., Huiqiu N., Xianbao L. Research on the process of carrot and celery sausage[J]. Agricultural Products Processing, 2019. (13). 48–51. [http://dx.doi.org/10.16693/j.cnki.1671-9646\(X\).2019.07.013](http://dx.doi.org/10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2019.07.013)
12. Haiyan W. Development and nutritional evaluation of new vegetable and meat compound sausage products [J]. Journal of Rational Clinical Medication, 2011. 4 (16). 108–109. <http://dx.doi.org/10.15887/j.cnki.13-1389/r.2011.16.001>
13. Luyao G.. Research on myofibrillar protein gel properties of mixed meat of livestock and poultry and development of dietary fiber composite beef sausage[D]. Jilin University, 2024. <http://dx.doi.org/10.27162/d.cnki.gjlin.2024.001620>
14. Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Vasylyv, V., Stefan, E., Priss, O., Babych, I., Karpovych, I., & Pushanko, N. Modelling the centrifugal mixing process of minced meat to optimise the production of chopped meat semi-finished products. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 2024. 18. 297–312. <https://doi.org/10.5219/1959>
15. Паламарчук І. П., Загорко Н. П., Яременко Я. В., Сватова Н. С. Математичні моделі якості м'ясопродуктів з рослинними домішками. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24. Т. 3. С. 177–187. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-3>

Стаття надійшла до редакції 20.03.2025 р.

I. Palamarchuk^{1,2}, Yuanxia Fu¹, N. Zagorko², V. Bocharnikova¹

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

² Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

QUALITY ASSESSMENT OF CHINESE SAUSAGE SAMPLES USING MATHEMATICAL MODELS OF “FACTORIAL AREAS” BY THE CONTENT OF MINERAL COMPONENTS

Summary

Among the Chinese sausages, we can note meat sausages that are resistant to storage; sausages from lean meat with strong seasonings; salty, hard and air-dried beer sausages; sweet sausages with a Sichuan flavor and spicy sausages with a Cantonese flavor. The disadvantages of the technologies for manufacturing such sausages include a long drying time, high dependence on temperature and humidity, which affect the quality and taste of the product; insufficiently high production productivity of this product. Therefore, the purpose of this scientific work was chosen to search for and implement an effective assessment of the quality characteristics of Chinese sausages. When creating a mathematical model, the hypothesis was put forward that the defining parameters of the product create the corresponding quality spaces, the interaction of which forms the properties of the product. The method for assessing



the quality characteristics of the product developed by the author involves the use of dimensionless assessment criteria that can be obtained by correlating them with regulatory or recommended characteristics. The practical value of the developed modeling method is due to the simplicity of compiling a geometric model, the clarity of information display, the possibility of using any number of evaluation parameters. This allows to realize the maximum possible accuracy of this mathematical examination, which is determined only by the correctness of the choice of evaluation criteria. The presented features cannot be achieved by the method of organoleptic characteristics diagrams, which can only visually resemble the developed modeling method. As the evaluation criteria for the studied Chinese sausages, the coefficient of compliance with a given quality interval and the coefficient of compliance with the limit normative values, which implement the generally regulated quality criteria for this product, were chosen. According to the modeling results, it turned out that the unsatisfactory assessment in terms of the content of mineral components concerns vegetable and ordinary pork sausages. At the same time, samples of Cantonese and beer sausages show a positive change in the dynamics of quality parameters.

Keywords: geometric quality models, Cantonese and beer sausages, quality characteristics, normative parameters, mineral substances.



Д. О. Петраченко, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-1347-9562

*Відокремлений структурний підрозділ «Глухівський агротехнічний фаховий коледж
Сумського національного аграрного університету»*

e-mail: dpetrachenko@i.ua

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОБРУШУВАЧА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЛУЧЕННЯ ЯДРА НАСІННЯ КОНОПЕЛЬ

Анотація. У роботі досліджено вплив ключових технологічних параметрів на ефективність механічного обрушування насіння промислових конопель. Установлено, що найбільший вплив на процес відділення оболонки від ядра має фракційний склад насіння: дрібна фракція насіння (<2,5 мм) забезпечує мінімальний вихід ядра (<10 %), середня фракція (2,5–3,0 мм) – до 17 %, а велика (>3,0 мм) – 20–22 %. Оптимальна частота обертання робочого органу становить 2 000 об/хв, оскільки перевищення цього значення спричиняє надмірне подрібнення ядра. Вологість насіння має незначний вплив на ефективність процесу обрушування, а її оптимальне значення визначено на рівні 16,3 %. Виявлено, що досліджувані фактори на процес обрушування насіння промислових конопель впливають незалежно, без суттєвої взаємодії між собою. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції обрушувальних пристроїв та розробки оптимальних технологічних режимів їх роботи.

Ключові слова: коноплі, фракція насіння, параметри обрушування, вихід ядра, відцентровий обрушувач.

Постановка проблеми. Останніми роками промислові коноплі (*Cannabis sativa* L.) набули широкого поширення в агропромисловому секторі завдяки їхній високій харчовій, технічній та екологічній цінності [1]. Насіння конопель містить значну кількість білків, незамінних жирних кислот та біологічно активних речовин, що робить їх важливим компонентом для харчової промисловості [2]. Зокрема, конопляне насіння використовується для виробництва олії, рослинного білка, функціональних харчових продуктів й обрушеного ядра. Однак для виготовлення конопляного ядра необхідно ефективно відокремити ядро від оболонки, що потребує відповідної технологічної обробки. З огляду на це, технологічна переробка насіння шляхом обрушування залишається важливим завданням через необхідність забезпечення максимального виходу готового продукту.

Механічне обрушування насіння є ключовим етапом у технологічному ланцюгу його переробки. Висока ефективність цього процесу дає змогу забезпечити максимальний вихід ядра з мінімальними втратами. Однією з основних проблем цього напрямку переробки є вибір раціональних режимів роботи обладнання для ефективного обрушування насіння. Відомо [3], що техніко-технологічні параметри обладнання та фізико-механічні властивості насіння значно впливають на ефективність процесу. Недостатня оптимізація цих факторів може призводити до зниження виходу ядра або підвищення кількості не обрушеного насіння.

Попередні дослідження [4] показали, що використання відцентрового механізму при обрушуванні насіння конопель забезпечує ефективність процесу відділення оболонки від ядра завдяки дії відцентрових сил та контрольованого механічного впливу. Водночас вплив режимних параметрів на вихід обрушеного ядра та ефективність його відокремлення від оболонки залишається недостатньо вивченим, що зумовлює необхідність подальших досліджень. Оптимізація технологічних режимів цього процесу дасть змогу забезпечити максимальну ефек-



тивність механічного відокремлення ядра, підвищити якість кінцевої продукції та зменшити кількість відходів. З огляду на це, виникає потреба в проведенні комплексних досліджень, спрямованих на визначення оптимальних параметрів роботи відцентрового обрешувача для насіння промислових конопель.

Аналіз останніх досліджень. Розробка обладнання для механічного обрешування насіння різних культур є важливим аспектом агропромислової переробки зернових та технічних культур. Оптимізація цього процесу дає змогу підвищити вихід ядра, зменшити технологічні втрати та покращити якісні характеристики кінцевого продукту. У низці досліджень розглядалася можливість використання універсальних механізмів, здатних працювати з різними видами насіння, однак такі підходи стикаються з низкою технологічних обмежень. Так для обрешування спелі й емеру були випробувані пристрої, первісно призначені для обробки вівса, рису, ячменю, сояшника та конюшини. Дослідження показали, що їх застосування без відповідних адаптацій не забезпечує належної ефективності процесу. Зокрема, без внесення конструктивних змін відбувалося зниження якості обрешеного продукту, підвищення втрат та значне зменшення продуктивності обладнання [5]. Подібні негативні результати отримані й при спробах застосування стандартних механізмів для обрешування насіння спелі, що не тільки знижувало вихід, а й призводило до надмірного пошкодження продукту [6].

При механічному обрешуванні насіння сояшника встановлено, що ефективність процесу залежить від типу використовуваного механізму та його конструктивних особливостей [7]. Використання повітряно-струменевих ударних обрешувачів показало вищу ефективність при роботі з високолейновими та ліновими сортами сояшника, але лише за умови точного регулювання тиску та рівня вологості насіння [8]. Це підтверджує важливість добору оптимальних параметрів обрешування, оскільки відхилення від визначених значень може спричинити як недообрешення, так і надмірне подрібнення ядра.

Подібні закономірності спостерігаються й при обрешуванні інших культур. Так, у випадку переробки насіння гороху голубиною експериментально встановлено, що досягнення ефективного відокремлення оболонки можливе лише за умови правильного співвідношення між параметрами механізму та фізико-механічними характеристиками сировини [9]. В іншому разі спостерігається зниження виходу продукту й збільшення втрат.

Отже, кожен вид насіння вимагає специфічних параметрів роботи обладнання, що підтверджує неможливість розробки універсального механізму, який би забезпечував високу якість обрешеного ядра для всіх видів культур. Наявні механізми не забезпечують універсального підходу до обробки насіння з різними фізико-механічними характеристиками. Для ефективного обрешування кожного виду насіння необхідні спеціалізовані технологічні рішення й адаптовані режими роботи обладнання. Це особливо актуально для насіння промислових конопель, яке відрізняється складною геометричною формою та специфічними властивостями його структурних компонентів.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Мета дослідження – оцінити вплив основних технологічних факторів на ефективність процесу механічного відокремлення оболонки та визначити оптимальні умови для виходу ядра. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції обладнання та оптимізації режимів його роботи.

Основна частина. Дослідження процесу обрешування проводили на насінні промислових конопель сорту «Глєсія», вирощеного на виробничих посівах Інституту луб'яних культур НААН України. Для визначення фізико-механічних властивостей насіння застосовували загальноприйняті методики та стандартні дослідницькі прийоми [10]. Сортували насіння за розміром з використанням лабораторних решіт із подовженими отворами розміром 3,0×20 мм та 2,5×20 мм. Насіння подавали на решета, які здійснювали зворотно-поступальні коливання,



що забезпечувало його розділення на три фракції: велика ($>3,0$ мм), середня ($2,5-3,0$ мм), дрібна ($<2,5$ мм). Кожна виділена фракція насіння досліджувалася окремо. Для визначення маси насіння та складників рушанки використовували електронні ваги.

Вологість насіння визначали за допомогою лабораторної сушильної шафи. У дослідженні застосовували насіння з такими рівнями вологості: 8,8 %, 16,3 % та 21,6 %. Збільшення вологості здійснювали протягом трьох діб штучним шляхом методом розпилення води. Після зволоження насіння піддавали природному підсушуванню до такого стану, щоб воно не мало видимих слідів води та зберігало сипучість у вільному стані. Кожна партія насіння з певним рівнем вологості оброблювалася окремо.

Процес обрушування насіння конопель здійснювали за допомогою експериментального відцентрового пристрою власної конструкції [3]. Кожен зразок насіння обробляли окремо. Маса наважки для кожного варіанта обрушування 200 г. Дослідження проводили шляхом виконання серії експериментів. Повторюваність для кожного варіанта п'ятикратна.

Насіння в обрушувач подавали зверху через спеціальний завантажувальний отвір у сипучому стані. При контакті з робочим колесом, що оберталося з визначеною частотою, насіння змінювало напрямок руху та з певною силою вдарилося об стінки відбивної деки. Після проходження через пристрій отриману рушанку – суміш обрушених та необрушених частинок насіння – піддавали подальшому поділу за допомогою повітряно-решітного сепаратора.

У процесі досліджень використовували такі конструктивні параметри: зазор між робочим колесом та відбивною декою становив 15 мм, діаметр робочого колеса – 236 мм. Частота обертання робочого органу варіювалася на рівнях 1500, 2000 та 2500 об/хв.

Ефективність процесу оцінювали після кожного експериментального циклу, аналізуючи кількість отриманого обрушеного ядра. Опрацювання отриманих даних виконували в програмному середовищі Statistica 10.0, що давало змогу провести детальний статистичний аналіз отриманих результатів.

Для оцінки впливу основних технологічних параметрів на процес обрушування насіння промислових конопель проведено багатофакторний експеримент третього порядку (ПФЕ³). У процесі дослідження розглядалися три основні фактори: частота обертання робочого колеса (N), фракція насіння (D), вологість насіння (W) (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні факторів та їх натуральні значення

Фактор	Натуральне позначення	Інтервал варіювання	Натуральні рівні варіювання		
			верхній	нульовий	нижній
Частота обертання, об/хв.	N	500	2500	2000	1500
Фракція насіння, мм	D	0,5	$>3,0$	2,5-3,0	$<2,5$
Вологість насіння, %	W	5,3-7,5	21,6	16,3	8,8

Як функцію відгуку використовували вихід ядра (R) після обрушування, що характеризує ефективність відокремлення ядра від оболонки та є одним з ключових параметрів при оцінці продуктивності процесу. Цей показник визначався як відношення маси обрушеного ядра до маси початкової наважки насіння, виражене у відсотках. Це давало змогу об'єктивно оцінити рівень руйнування оболонки та ступінь вилучення ядра. Високі значення виходу ядра свідчили про ефективність механізму обрушування, тоді як низькі показники вказували на неповне обрушування або надмірне подрібнення ядра.

У результаті проведення повного факторного експерименту отримано рівняння регресії (1), (2), (3), що описують вплив основних факторів – вологості насіння (W), фракції насіння (D) та частоти обертання робочого колеса (N) – на вихід ядра (R). На основі цих рівнянь побудовано тривимірні моделі (рис. 1), що відображають залежності виходу ядра від комбінацій досліджуваних факторів.

$$R = 45,9049 - 31,1766 \times D - 0,3078 \times W + 6,7 \times D^2 + 0,0787 \times DW + 0,0094 \times W^2 \quad (1)$$

$$R = -113,0583 + 0,1249 \times N + 0,4147 \times W - 3,0167 \times 10^{-5} \times N^2 - 0,0003 \times NW + 0,0094 \times W^2 \quad (2)$$

$$R = -119,0911 + 0,1442 \times N - 11,1856 \times D - 3,0167 \times 10^{-5} \times N^2 - 0,0094 \times ND + 6,7 \times D^2 \quad (3)$$

За результатами дослідження відзначено, що кожен із факторів має різний ступінь впливу на ефективність процесу обрешування. Найбільше на процес обрешування впливає фракційний склад насіння (D), середній – частоти обертання робочого колеса (N), а найменший – вологість

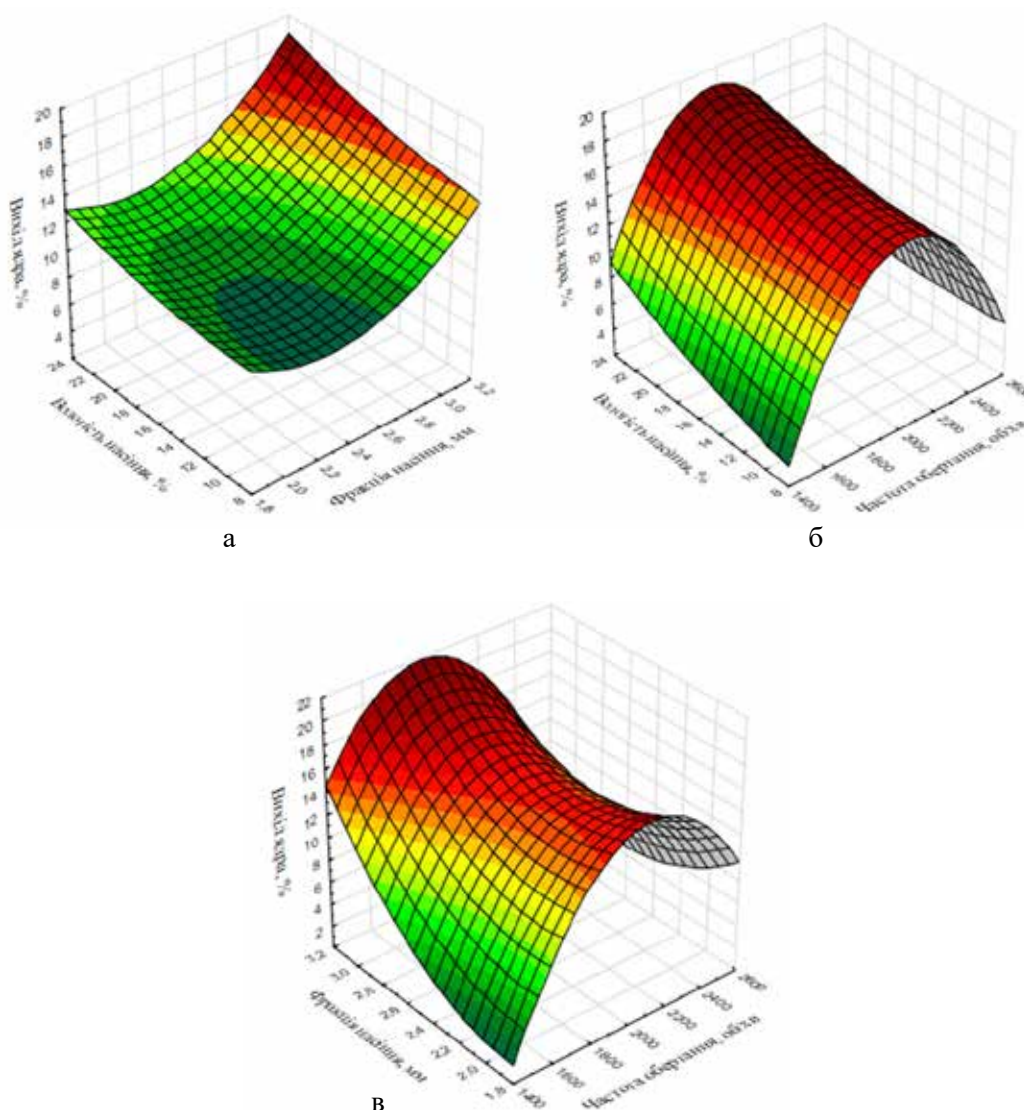


Рис. 1. Поверхні відгуку ефективності обрешування насіння конопель залежно від досліджуваних факторів: а – вологість насіння – фракція насіння; б – вологість насіння – частота обертання; в – фракція насіння – частота обертання

насіння (*W*). Взаємодія між факторами виявилася незначною, що свідчить про те, що кожен параметр впливає на процес обривування відносно незалежно.

Відмічено, що збільшення вологості насіння призводить до незначного збільшення виходу ядра, однак вплив цього фактору є мінімальним порівняно з іншими дослідженими параметрами. За вологості 8,8 % вихід ядра становить у середньому 13–14 %, тоді як за вологості 21,6 % вихід збільшується до 16–17 %. Це свідчить про те, що підвищена вологість може сприяти зменшенню міцності оболонки та полегшує її відокремлення. Водночас надмірне підвищення вологості призводить до утворення більшої кількості недоріплого, що знижує якість кінцевого продукту. Тому можна відмітити, що оптимальним для цих умов обривування є вологість насіння на рівні 16,3 %. Адже саме при цьому значенні спостерігається краще співвідношення між виходом ядра та мінімізацією відходів.

Фракційний склад насіння найбільше впливає на процес обривування. При використанні дрібної фракції насіння (<2,5 мм) вихід ядра не перевищує 10 %. Це може бути наслідком високої міцності дрібного насіння та його недостатнім руйнуванням при контакті з відбивною декою машини. Водночас для середньої фракції (2,5–3,0 мм) вихід ядра збільшується до 12–17 %, що свідчить про покращення ефективності обривування. Найбільш високий вихід спостерігається для фракції більш ніж 3,0 мм, де частка обривеного ядра досягає 20–22 %. Це може бути наслідком того, що більше за розміром насіння має тоншу оболонку, що полегшує її відокремлення в процесі механічного впливу. Так, кращі результати досягаються при використанні фракції більш ніж 3,0 мм, оскільки при цьому забезпечується найбільший вихід обривеного ядра.

Частота обертання робочого колеса є другим за значущістю фактором, який впливає на ефективність процесу обривування. За частоти обертання 1500 об/хв вихід ядра становить у середньому 12–14 %, що недостатньо для ефективного обривування. Збільшення частоти до 2000 об/хв дає змогу підвищити вихід до 16–18 %, що свідчить про покращення ступеня відокремлення оболонки. Однак подальше підвищення частоти обертання до 2500 об/хв призводить до зменшення виходу ядра до 9–11 %, що пояснюється підвищеним рівнем подрібнення та збільшенням частки відходів. Так, оптимальна частота обертання для процесу обривування становить 2000 об/хв, оскільки саме при цьому значенні забезпечується більший вихід ядра.

Аналіз взаємодії між факторами показав, що суттєвого комбінованого ефекту не спостерігається. Підвищення вологості насіння значно не впливає на зміну виходу ядра за різних рівнів частоти обертання. Аналогічно зміна частоти обертання суттєво не впливає на ефективність обривування для різних фракцій насіння. Це свідчить про те, що кожен із факторів має відносно незалежний вплив на процес обривування конопляного насіння.

Висновки. Установлено, що найбільше на вихід ядра впливає фракційний склад насіння – збільшення розміру насіння сприяє покращенню ефективності обривування. Середній вплив має частота обертання робочого колеса, оскільки її підвищення до певного рівня збільшує вихід ядра, але надмірне збільшення призводить до підвищеного рівня подрібнення. Найменший вплив спостерігається для показника вологості насіння, яка має лише незначний ефект на процес відокремлення оболонки.

Для забезпечення максимального виходу ядра при використанні механізму з діаметром робочого колеса 236 мм і зазором між колесом та декою 15 мм визначено такі оптимальні параметри: фракція насіння більш ніж 3,0 мм, частота обертання робочого колеса 2000 об/хв та вологість насіння 16,3 %. Саме ці умови допомагають досягти найбільш ефективного відокремлення ядра за мінімального рівня утворення відходів.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції відцентрового обривувача та оптимізації режимів його експлуатації. Подальші дослідження доцільно спря-



мувати на аналіз впливу геометрії робочих органів, а також вивчення особливостей подання сировини для підвищення ефективності процесу обробування насіння промислових конопель.

Список використаних джерел

1. Bárta J., Roudnický P., Jarošová M., Zdráhal Z., Stupková A., Bártová V., Krejčová Z., Kyselka J., Filip V., Říha V., Lorenc F., Bedrníček J., Smetana P. Proteomic profiles of whole seeds, hulls, and dehulled seeds of two industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars. *Plants*. 2023. Vol. 13. <https://doi.org/10.3390/plants13010111>
2. Oseyko M., Sova N., Yefimov V., Petrachenko D. Chemical composition of seeds of industrial Ukrainian hemp varieties. *Ukrainian Food Journal*. 2024. Vol. 13(3):542-556. DOI: 10.24263/2304-974X-2024-13-3-8
3. Sheichenko V., Petrachenko D., Koropchenko S., Rogovskii I., Gorbenko O., Volianskyi M., Sheichenko D. Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. № 2 (1 (128)), P. 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>
4. Petrachenko D. Results of crushing of industrial hemp seeds depending on seed size and moisture. *Bast and Technical Crops*. 2020. Vol. 8 (13). P. 58–65. [https://doi.org/10.48096/btc.2020.8\(13\).58-65](https://doi.org/10.48096/btc.2020.8(13).58-65)
5. Lazor J. The organic grain grower: Small-scale, holistic grain production for the home and market producer. Chelsea Green Publishing, Inc. White River Junction, VT, 2013 p.
6. Wright G. Selling grains at the farmers market. Paper presented at the NOFA-NY Winter Conference. Saratoga Springs, NY. January 24, 2014.
7. Design and Evaluation of a Sunflower Dehuller to Aid in Precision Planting. North Dakota State University. Available at: <https://www.ndsu.edu/fileadmin/aben/SunflowerDehusking.pdf>
8. Design, Fabrication and Performance Evaluation of Centrifugal Sunflower Dehuller for Small-Scale Enterprises in Developing Countries. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*. <https://doi.org/10.1080/20421338.2019.1573956>
9. Influence of Seed:Water Ratio and Shredding Time on Dehulling Process of Pigeon Pea (*Cajanus cajan*). *Herald Open Access*. <https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100083>
10. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості ДСТУ 4138-2002 Київ: Держспоживстандарт України. 2004 р.
11. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. 1992. Київ : НМК ВО. 320 с.

Стаття надійшла до редакції 24.02.2025 р.

D. Petrachenko

Separate Structural Unit "Hlukhiv Agrotechnical Vocational College of Sumy National Agrarian University"

IMPACT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A CENTRIFUGAL SHELTER ON THE EFFICIENCY OF KERNEL EXTRACTION FROM HEMP SEEDS

Summary

The study examines the influence of key factors, such as seed fraction size, rotor speed, and raw material moisture content, on the efficiency of kernel separation from the hull. The research was conducted using an experimental centrifugal sheller, which allowed for the determination of optimal operating parameters to achieve maximum kernel yield. It was established that the seed fraction size is the most critical factor in the shelling process. The small fraction (<2.5 mm) provides a minimal kernel yield (<10 %). The medium fraction (2.5–3.0 mm) demonstrates an increase in yield up to 17 %, while the large fraction (>3.0 mm) ensures the highest kernel extraction rate of 20–22 %. The optimal rotor speed was determined to be 2000 rpm. Reducing this parameter to 1500 rpm decreases the efficiency of hull destruction, while increasing it to 2500 rpm leads to excessive kernel fragmentation, resulting in higher waste production and reduced final product quality. An analysis of seed moisture content showed that this parameter has a secondary effect, as moisture levels within the range of 8.8 %–21.6 % have only a slight impact on



kernel yield. The optimal moisture content was determined to be 16.3 %, at which the best balance between shelling efficiency and minimizing the amount of unshelled product is achieved. It was found that the studied technological parameters affect the shelling process independently, without significant interaction between them. This allows for the determination of optimal operating modes of the equipment by varying each factor separately. The obtained results can be used to improve the design of shelling devices and to develop optimal technological regimes for mechanical shelling of industrial hemp seeds, aiming to minimize processing losses and maximize the yield of high-quality kernels.

Keywords: hemp, seed fraction, shelling parameters, kernel yield, centrifugal sheller.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-16

УДК 355.65:355(045)

Т. В. Семко, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-1951-5384

О. В. Пахомська, старший викладач

ORCID: 0000-0002-0915-8811

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: olana1980@ukr.net

ВИМОГИ ДО РАЦІОНУ ХАРЧУВАННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Анотація. В умовах сьогодення дослідження питань забезпечення раціональним та повноцінним харчуванням військовослужбовців Збройних Сил України є надзвичайно необхідним і важливим.

З огляду на це, особливої актуальності набуває питання розроблення та наукового обґрунтування заходів, спрямованих на забезпечення раціонального харчування військовослужбовців необхідними поживними речовинами.

Вимоги до раціону харчування військовослужбовців в Україні регламентуються постановою КМ України № 426 «Про норми харчування військовослужбовців Збройних Сил та інших військових формувань» від 29 березня 2002 р. (14 Норм), яку постановою КМ України від 3 жовтня 2016 р. № 696 «Про внесення змін до норм харчування військовослужбовців ЗСУ та інших військових формувань» доповнено Нормою № 15 – добовий польовий набір продуктів.

Для забезпечення високого рівня фізичного та емоційного стану військовослужбовців під час виконання службово-бойових завдань необхідно забезпечити повноцінне харчування й налагодити логістику постачання харчових продуктів.

Ключі слова: раціональне харчування, каталог продуктів, збалансованість, військовослужбовці, харчовий раціон, фізіологічна норма.

Постановка проблеми. Харчування військовослужбовців України повинно відповідати вимогам санітарних та гігієнічних норм, а також стандартам якості й калорійності продуктів харчування. Відповідно до законодавства та нормативних документів, що регулюють питання харчування в Збройних Силах України. Згідно зі статтею 47 «Про Збройні Сили України», військовослужбовці мають право на щоденне безоплатне харчування, яке забезпечує Міністерство оборони України [3].

Як відомо, в Україні вимоги до раціону харчування військовослужбовців регламентуються постановою Кабінету Міністрів України № 426 «Про норми харчування військовослужбовців Збройних Сил та інших військових формувань» від 29 березня 2002 р., яка містить низку доповнень, що розширюють коло питань оптимізації харчування особового складу.

Варто зазначити, що харчування військовослужбовців має не тільки адекватно підтримувати гомеостаз при фізичних навантаженнях, а й сприяти швидкому відновленню організму після їх виконання, забезпечувати фізіологічне функціонування всіх систем та органів, запобігати розвитку захворювань і дефіцитних станів унаслідок дисбалансу макро- та мікронутрієнтів [4; 5].

На нашу думку, пріоритетними напрямками у вирішенні численних проблем із харчуванням військовослужбовців ЗСУ можна визначити такі:

- проведення національного дослідження з оцінки фактичного харчування; удосконалення законодавства України в частині контролю безпеки та якості;
- посилення контролю за виконанням законодавчих актів і відповідальності за їх порушення;
- проведення аналізу чинних документів щодо вимог та організації харчування військовослужбовців і їх удосконалення відповідно до сучасного рівня наукових знань [6].

Аналіз останніх досліджень. Окремі аспекти харчування військовослужбовців України висвітлювалися в працях таких науковців, як Ю. Депутат, А. Жалдак, С. Каплун, Н. Крупка, У. Лотоцька-Дудик, В. Саган, О. Фролов, В. Чорна та багато інших українських і закордонних дослідників. Водночас є низка питань, які потребують додаткового вивчення.

Формування цілей статті (постановка завдання). Мета статті – дослідити дані щодо вимог та організації харчування військовослужбовців Збройних Сил України.

Основна частина. Під час організації раціонального харчування військовослужбовців України необхідно забезпечити надходження з раціоном достатньої кількості основних поживних речовин, зокрема підвищеної біологічної активності, здатних стимулювати кровотворення, поліпшити функціонування антиоксидантної, нервової та імунної систем, шлунково-кишкового тракту. Харчовий раціон для військовослужбовців України формується за основними принципами, які передбачають відповідність чинним фізіологічним нормам за показниками енергетичної цінності, білкової, ліпідної та вуглеводної збалансованості, врахування засвоюваності і взаємодії нутрієнтів, що входять до складу харчової продукції, забезпеченість надходження есенційних вітамінів і мікроелементів для профілактики дефіциту мінеральних речовин (цинку, селену, йоду та ін.) та вітамінів антиоксидантної групи і групи В, збалансованість, оздоровчу спрямованість [7; 8].

Досліджено, що енерговитрати військовослужбовців України становлять приблизно 3 600 ккал на день (15,1 МДж/день) при виконанні нескладних операцій і 4 900 ккал на день (20,5 МДж/день) для бойових операцій (місій), які вважаються найбільш фізіологічно, емоційно-стресовим навантаженням на військового. Наукові дослідження стверджують, що під час виконання підготовки середньодобові енерговитрати військовослужбовця становлять до $6\,853 + 737,3$ ккал, тобто 4 100 ккал загальновійськового пайка при виконанні «бойових операцій» не покривають енергопотреб [9].

Напрями вдосконалення технології харчової продукції для військовослужбовців України представлено на рис. 1 [10].

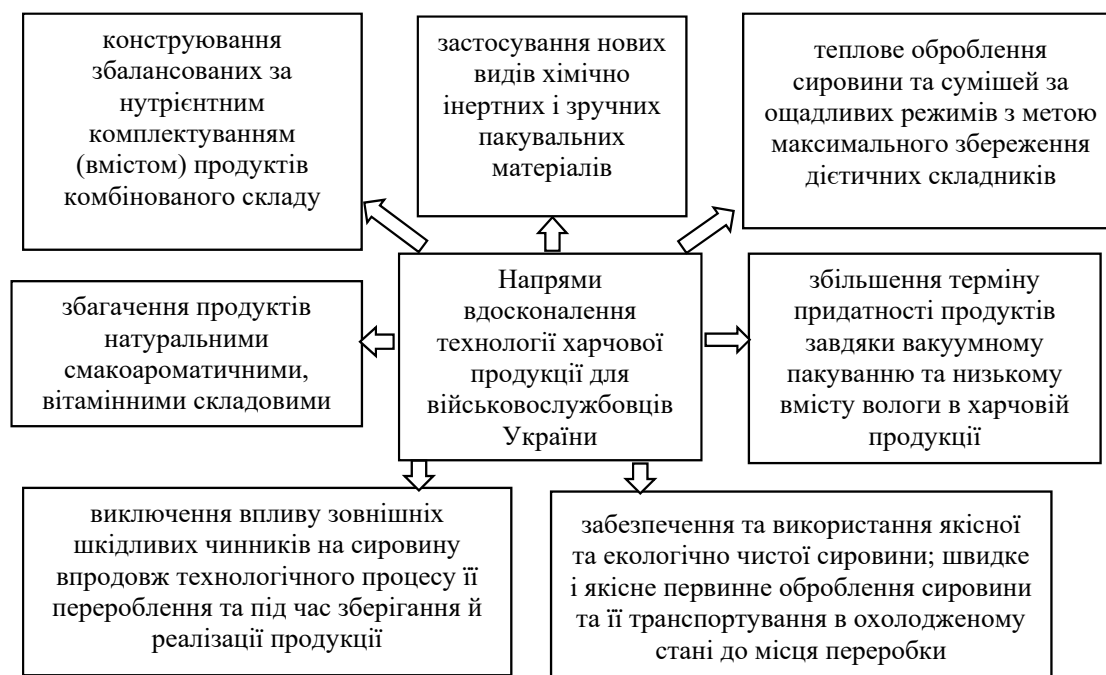


Рис. 1. Напрями вдосконалення технології харчової продукції для військовослужбовців України

Результати досліджень учених останніх років [10] дають підстави для впровадження в практику технологій функціональних продуктів харчування з умістом дефіцитних функціональних інгредієнтів, які матимуть практичне впровадження в покращення харчування військовослужбовців України.

На нашу думку, важливими критеріями цієї групи харчових продуктів є висока біозасвоюваність упродовж усього періоду зберігання збагаченого продукту; оптимальна вартість комплексу; проста технологія внесення; сухе змішування з продуктом, розпилювання добавки на поверхні тощо; відсутність взаємозв'язку мікронутрієнта з компонентами суміші, що призводить до зниження вмісту або засвоєння інших харчових речовин.

Ми рекомендуємо для профілактики гіповітамінозів та гіпомікроелементозів включати в раціон продукти високої біологічної цінності через підвищену потребу у вітамінах, зокрема тіаміні, рибофлавіні, піридоксині тощо. Нутриціологічна профілактика гіпокінезії шлунково-кишкового тракту та інтоксикації організму передбачає наявність у раціоні достатньої кількості харчових волокон (не менш ніж 25 г), для профілактики захворювань органів зору – наявність у раціоні продуктів, що містять лютеїн у кількості не менш ніж 5 мг, зеаксантин, антоціани, вітаміни А, С, Е. Важливим складником раціонів харчування військовослужбовців є продукти, що містять сірковмісні амінокислоти, фолієву кислоту, поліненасичені жирні кислоти проявляють антисклеротичну дію.

Організацію харчування військовослужбовців Збройних Сил України представлено на рис. 2.



Рис. 2. Організація харчування військовослужбовців Збройних Сил України

Для військовослужбовців установлена найбільша добова потреба в білках – 111 г, жирах – 144 г та вуглеводах – 550 г. Добова потреба для чоловіків у мінеральних речовинах становить 1 200 мг кальцію, 400 мг магнію та 15 мг заліза. Жінкам рекомендовано збільшити вживання магнію до 500 мг. Добова потреба вітаміну D становить 5 мкг, фолієвої кислоти – 400 мкг для чоловіків та жінок, вітаміну С – 80 мг для чоловіків і 70 мг для жінок [10; 11].

Фізіологічні норми харчування є підґрунтям для нормативів харчового забезпечення груп особливих контингентів осіб, зокрема ЗСУ. Відповідно до цього, необхідно переглядати й гармонізовувати відповідні харчові набори, враховуючи ці зміни, а саме – зменшити частку простих вуглеводів у раціоні, акцентувати на складних вуглеводах завдяки овочам та фруктам, зерновим продуктам, зменшити кількість солі й цукру, збільшити норму вітаміну D та фолієвої кислоти [12; 13].

Вищезазначені принципи базуються на «Нормах фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії» затверджених наказом МОЗ України № 1073 від

03.09.2017 року [14]. Правильна організація харчування військовослужбовців представлена на рис. 3. [15–17].



Рис. 3. Правильна організація харчування військовослужбовців

Меню формується враховуючи передбачену суму коштів згідно з розрахунком на одну особу та наявний залишок коштів, отриманий за попередні прийоми їжі. Для особового складу військових частин, залежно від характеру навчально-бойової діяльності, встановлюється триразове або чотириразове харчування. За триразового харчування гаряча їжа військовослужбовцям видається тричі на добу – сніданок, обід і вечерю.

Також військовослужбовці в дні несення ними варті додатково отримують другу вечерю. Військовослужбовцям строкової військової служби, які мають зріст 190 см і вище, дозволяється видавати додаткове харчування в розмірі половини передбаченої норми. Сума для витрат за триразового харчування на добу розподіляється так: сніданок – 35 %, обід – 45 %, вечеря – 20 %. Чотириразовим харчуванням на добу забезпечується льотний склад. У дні польотів льотний склад приймає їжу за 1,5–2 години до початку польотів.

Також чотириразовим харчуванням на добу забезпечуються військовослужбовці кораблів, берегових баз та управлінь з'єднань кораблів. При цьому сума для витрат за чотириразового харчування розподіляється так: сніданок – 25 %, обід – 40 %, вечеря – 25 %, вечірній чай – 10 %. Залежно від умов бойової підготовки й розкладу дня військової частини командиром може бути змінено кількість прийомів їжі до трьох разів на добу. Їжа в їдальнях військових частин готується відповідно до затвердженої розкладки продуктів [18; 19].

Під час складання меню враховують особливість і характер бойової підготовки, сезон, установлений режим харчування, наявність та асортимент продуктів, граничних обсягів коштів, а також побажання військовослужбовців, які харчуються в їдальні. Ураховуючи щоденні фізичні, розумові навантаження, психоемоційні напруження, особливо в періоди бойових дій, коли енерговитрати стають ще більшими, питання адекватного забезпечення енергопотреб військовослужбовців набуває особливого значення [20; 21].



Упродовж 2018–2019 рр. ЗСУ перешли на нову систему харчування згідно з наказом Міністра оборони України № 591 «Про затвердження Каталогу продуктів харчування» від 15 листопада 2019 р. з можливістю індивідуального коригування раціону за вподобанням військовослужбовців. Асортимент Каталогу дозволяє організовувати харчування як зі свіжих (заморожених), так і з консервованих продуктів залежно від умов перебування та виконання завдань військової частини. Каталог має електронний вигляд, містить 409 найменувань продуктів і дозволяє сформувати будь-який раціон, якщо він не виходить за межі визначеного діапазону цін та забезпечує достатню калорійність харчування [22; 23].

Як відомо, Кабінет Міністрів України постановою від 16.02.2024 № 172 (<https://www.kmu.gov.ua/.../pro-vnesennia-zmin-do-norm...>) вносить зміни до норм харчування військовослужбовців Збройних Сил та інших військових формувань (постанова КМУ від 29.03.2002 № 426 (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/426-2002-%D0%BF#top>)).

Норми харчування військовослужбовців Збройних Сил та інших військових формувань (норма № 1 – загальновійськова) представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Норми харчування військовослужбовців Збройних Сил та інших військових формувань

Найменування продукту	Кількість на одну людину на добу, грамів	Найменування продукту	Кількість на одну людину на добу, грамів	Найменування продукту	Кількість на одну людину на добу, грамів
Хліб із суміші борошна житнього обдирного й пшеничного першого сорту	300	Цукор	70	Сухофрукти	20
Хліб із борошна пшеничного першого сорту	350	Сіль, сіль йодована	25	або соки фруктові	100
Булочка з борошна пшеничного першого сорту	70	Чай	1,2	Яйця курячі, штук (на тиждень)	2
Борошно пшеничне другого сорту	15	Сир сичужний твердий	20	Масло вершкове	30
Крупи різні	120	Риба	150	М'ясо	250
Макаронні вироби	40	Сало-шпик	20	Мед натур. або джем	20
Картопля і овочі, усього зокрема:	900				
картопля	600	огірки, помідори, зелень	40	цибуля	50
капуста	130	буряки	30	морква	50

Висновки. Подальше вдосконалення забезпеченості харчуванням військовослужбовців передбачає контроль видачі окремих видів та розширення введення нових продуктів харчування, покращення їх якості; підвищення харчової цінності продуктів, збагачення полівітамінними комплексами або мінерально-вітамінними; застосування нових методів обробки продуктів з метою забезпечення максимального збереження поживних і смакових властивостей свіжих продуктів; збільшення термінів зберігання продовольства.

Перспективним напрямом подальших досліджень є вивчення досвіду системи харчування провідних держав – членів НАТО та впровадження її для розбудови ефективної системи харчування військовослужбовців Збройних Сил України.

Список використаних джерел

1. Bustos, D., Guedes, J. C., Vaz, M. P., & Baptista, J. S. Non-Invasive physiological monitoring for physical exertion and fatigue assessment in military personnel: A systematic review. *Int j environ res public health*, 2021. № 18(16), С. 88–15. DOI: 10.3390/ijerph18168815.
2. Gulich, M. P., Deputat, Yu. M., Yashchenko, O. V., & Moiseyenko, I. E. Наукове обґрунтування удосконалення норм харчування військовослужбовців Збройних Сил України відповідно до стандартів НАТО [Scientific substantiation of the improvement of the nutritional standards of servicemen of the Armed Forces of Ukraine in accordance with NATO standards]. *Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України – Current issues of environmental protection and health of the population of Ukraine*, 2017, № 3, С. 279–313.
3. Лотоцька-Дудик У. Б., Крупка Н. О., Брейдак О. А. та ін. Харчування військовослужбовців : навч. посіб. Львів – Вінниця, 2023. 76 с.
4. Товма Л. Ф., Євлаш В. В., Глущенко В. В. Фізіолого-гігієнічна оцінка добового раціону харчування військовослужбовців ЗС України та інших військових формувань і його кореляція шляхом введення білково-вітамінного продукту «VitaBar». *Чесць і закон*. 2017. № 1. С. 131–138.
5. Cole RE, Bukhari AS, Champagne CM, McGraw SM, Hatch AM, Montain SJ. Performance nutrition dining facility intervention improves special operations soldiers' diet quality and meal satisfaction. *Journal of Nutrition Education and Behavior*. 2018. № 50(10): С. 993–1004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneb.2018.06.011>.
6. Moody SM. Feeding the US Military: The Development of Military Rations. In: Meiselman, H. (eds) *Handbook of Eating and Drinking*. Springer, Cham. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-14504-0_76.
7. Силка І. М. Оцінка стану харчування військовослужбовців Збройних сил України. *Наукові праці НУХТ*. 2016. № 21(6). С. 182–188.
8. Товма Л. Ф., Крамаренко В.П., Дейниченко Г.В. Методика оптимізації складу трикомпонентної харчової системи з метою створення харчових продуктів для військовослужбовців. *Бізнес-інформ*. 2016. №1. С. 175–178.
9. Король Я., Лісніченко Ю., Бойко Г. Проблеми питання водопостачання підрозділів сухопутних військ збройних сил України в польових умовах. *Збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України: військові та технічні науки*. 2019. №3 (81). С. 377–388.
10. Король Я., Лісніченко Ю., Бойко Г. Проблеми питання водопостачання підрозділів сухопутних військ збройних сил України в польових умовах. *Збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України: військові та технічні науки*. 2019. №3 (81). С. 377–388.
11. Deputat Yu. M., Ivanko O. M., Savitskyi V. L. and et. Research of the actual energy consumption of the military personnel of the armed forces of Ukraine to substantiate the correction of their daily diet. *Wiadomości lekarskie*. 2021. № 3 (2). DOI: 10.36740/wlek202103222.
12. Deputat, Yu. N., Ivanko, O. M., Savitskyi, V. L., Kazmyrchuk, A. P., Gyluch, M. P., & Palamar, B. I. Research of the actual energy consumption of the military personnel of the Armed Forces of Ukraine to substantiate the correction of their daily diet. *Wiadomosci Lekarskie*, 2021. № 74(3), С. 684–689. DOI: <https://doi.org/10.36740/WLek202103222>.
13. North Atlantic Treaty Organisation. Nutrition Science and Food Standards for Military Operations (Nutrition et normes d'alimentation pour les opérations militaires). Final Report of RTO Task Group. URL: natorto.cbw.pl/uploads/2010/3/TR-HFM-154-ALL.pdf. (дата звернення 25.01.2025).
14. Савицький В. Л., Депутат Ю. М., Іванько О. М., Горішна О. В. Досвід застосування індивідуальних раціонів харчування військовослужбовців: реалії та перспективи. *Сучасні аспекти військової медицини: зб. наук. пр.* 2020. Т. 27, № 2. С. 76–84. DOI: 10.32751/2310-4910-2020-27-29.
15. Sotelo-Diaz, I., & Blanco-Lizarazo, C. M. A systematic review of the nutritional implications of military rations. *Nutrition health*. 2019. № 25(2), С. 153–161. DOI: 10.1177/0260106018820980.



16. Tassone, E. C., & Baker, B. A. Body weight and body composition changes during military training and deployment involving the use of combat rations: a systematic literature review. *British Journal of Nutrition*. 2017. № 117(6), С. 897–910.
17. Kullen Ch, Mitchell L, O'Connor H, Gifford JA, Beck KL. Effectiveness of nutrition interventions on improving diet quality and nutrition knowledge in military populations: a systematic review. *Nutrition Reviews*. 2022; № 80(6). С. 1664–93. DOI: 10.1093/nutrit/nuab087.
18. Доценко В. Ф., Мурзін А. В. До питання оптимізації раціонів харчування військовослужбовців. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 28–29 травня 2015 р. Київ : НУХТ, 2015. С. 32–34.
19. Кучер М. О., Огороднійчук І. В., Козак Н. Д., Полторак М. Ф. Особливості водозабезпечення військовослужбовців в польових умовах. *Проблеми військової охорони здоров'я*. 2017. № 47. С. 144–148.
20. Karl JP, Margolis LM, Fallowfield JL, et al. Military nutrition research: Contemporary issues, state of the science and future directions. *Eur J Sport Sci*. 2022. № 22(1). С. 87–98. DOI: 10.1080/17461391.2021.1930192.
21. Cole RE, Bukhari AS, Champagne CM, McGraw SM, Hatch AM, Montain SJ. Performance nutrition dining facility intervention improves special operations soldiers' diet quality and meal satisfaction. *Journal of Nutrition Education and Behavior*. 2018. № 50(10): С. 993–1004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneb.2018.06.011>.
22. Лотоцька-Дудик У. Б., Крупка Н. О., Чорна В. В. Сучасний стан та організація харчування військовослужбовців Збройних Сил України в умовах російської агресії проти України. *Науковий вісник Ужгородського університету, серія «Медицина»*, 2023. № 1 (67), С. 90–91.
23. Колісниченко Т. О. Харчування військовослужбовців збройних сил України у бойових умовах. *Інтеграція науки і освіти: розвиток культурних і креативних індустрій* : збірник наук. праць Всеукр. конф., м. Київ, 10 травня 2022 р. Київ : КНУТД, 2022. С. 186–188.

Стаття надійшла до редакції 31.01.2025 р.

T. Semko, O. Pakhomskia

Vinnitsia Institute of Trade and Economics

REQUIREMENTS FOR THE NUTRITION OF MILITARY SERVICEMEN OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

Summary

In today's conditions, the study of the issues of providing rational and complete nutrition to the servicemen of the Armed Forces of Ukraine is extremely necessary and important.

Based on this, the issue of development and scientific substantiation of measures aimed at ensuring the rational nutrition of military personnel with all the necessary nutrients becomes especially urgent.

The requirements for the diet of military personnel in Ukraine are regulated by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 426 “On Nutrition Standards of Servicemen of the Armed Forces and Other Military Formations” dated March 29, 2002 (14 Norms), which by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 3, 2016 № 696 “On making changes to the food standards of servicemen of the Armed Forces of Ukraine and other military formations” supplemented by Norm № 15 – daily field set of products.

Optimizing the food system of military personnel is achieved through the introduction of various diets, the use of a wide range of products, the development of dry rations intended for food in combat conditions.

The improvement of food technology for the military personnel of Ukraine at the current stage of development is taking place in certain directions:

- provision and use of high-quality and environmentally friendly raw materials; fast and high-quality primary processing of raw materials and their transportation in a cooled state to the place of processing;
- heat treatment of raw materials and mixtures under economical regimes in order to maximize the preservation of dietary components;



- design of balanced nutritional composition (content) of combined products;
- use of new types of chemically inert and convenient packaging materials;
- enrichment of products with natural flavoring and vitamin components;
- increase in the shelf life of products due to vacuum packaging and low moisture content in food products;
- elimination of the influence of external harmful factors on raw materials during the technological process of its processing and during storage and sale of products

In order to ensure a high level of physical and emotional state of servicemen during the performance of service and combat tasks, it is necessary to ensure adequate nutrition and to establish the logistics of food supply.

Keywords: rational nutrition, product catalog, balance, military personnel, food ration, physiological norm.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-17

УДК 004.8:640.43(045)

Т. В. Семко, канд. техн. наук, доцент

О. В. Пахомська, старший викладач

ORCID: 0000-0002-1951-5384

ORCID: 0000-0002-0915-8811

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: olana1980@ukr.net, тел.098-78-78-853

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Анотація. У статті досліджено, що ресторанна індустрія України стрімко розвивається, і штучний інтелект відіграє дедалі більш важливу роль у покращенні операцій, досвіду клієнтів і загальної ефективності. Інструменти штучного інтелекту змінюють роботу ресторанів на сучасному конкурентному ринку, починаючи з оптимізації кухонних процесів і завершуючи персоналізацією взаємодії з клієнтами.

Запровадження штучного інтелекту в ресторанному бізнесі відкриває нові перспективи для її розвитку, робить галузь більш конкурентоспроможною та гнучкою в умовах ринкового середовища.

Використання штучного інтелекту значно сприяє покращенню комунікації з відвідувачами ресторану. Чатботи та віртуальні асистенти, оснащені штучним інтелектом, здатні відповідати на запити гостей закладу в режимі реального часу, надаючи інформацію про послуги, допомагаючи з бронюванням або вирішенням інших питань. Така співпраця забезпечує високий рівень обслуговування, що підвищує задоволеність клієнтів і покращує їхній досвід.

Ключові слова: штучний інтелект, ресторан, роботи, кіоски.

Постановка проблеми. Упровадження штучного інтелекту в ресторанному бізнесі виходить за межі простої автоматизації рутинних завдань. Програмне забезпечення на основі штучного інтелекту може аналізувати величезні обсяги даних клієнтів, надаючи цінну інформацію про тенденції та вподобання клієнтів. Це допомагає ресторанам персоналізувати досвід клієнтів, оптимізувати розробку меню та ухвалювати рішення на основі даних для покращення обслуговування гостей. Крім того, інструменти штучного інтелекту можуть допомогти в управлінні онлайн-оглядами, автоматизації маркетингових заходів і навіть створенні описів меню, допомагаючи ресторанам підтримувати сильну присутність в інтернеті та залучати нових клієнтів.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження особливостей використання ШІ в ресторанному господарстві здійснили такі вітчизняні та зарубіжні науковці й дослідники: І. Я. Мендела, Н. І. Кирніс, D. Russell, P. Norvyh, M. Hilb, Meskò B., Drobni Z., Bényei E., Gergely B., Gyorffy Z., E. Kairouz, B. McMahan, A. Avent, M. Shokri, S. Stronati, V. R. M. Song та багато інших. Та попри значні напрацювання із цієї теми, окремі її аспекти потребують подальшого вивчення та зумовлюють доцільність проведення наукових пошуків.

Формування цілей статті (постановка завдання). Дослідити розвиток штучного інтелекту у сфері ресторанного господарства.

Основна частина. Термін «штучний інтелект» запровадив Джон Маккарті у 1956 році на конференції в Стенфордському університеті, яка проходила з метою обговорення можливості реалізації ШІ. Відтоді минуло 69 років – і чи не в кожній компанії впроваджується технологія штучного інтелекту, яка успішно генерує діяльність та підвищує продуктивність компанії.

Єдиного визначення терміна «штучний інтелект» немає. Сьогодні словосполучення «штучний інтелект» (далі – ШІ) застосовується й у вузькому, і в широкому значеннях. У вузькому значенні ШІ – це програмне забезпечення, яке імітує роботу мозку людини. У більш широкому значенні

ШІ – це загальний термін, який використовується для позначення переліку технологій, як-от машинне навчання, «розумна» робототехніка, віртуальне асистування, автоматизоване управління рішеннями, розпізнавання мови, оброблення даних із використанням природної мови.

Штучний інтелект трактують як систему, що здатна сприймати своє середовище та застосовувати заходи, щоб максимізувати шанси на успішне виконання своїх завдань, а також інтерпретувати й аналізувати дані так, щоб вони вивчалися та адаптувалися в міру розвитку [1]. Переваги застосування штучного інтелекту в закладах ресторанного господарства представлено на рис. 1 [2].

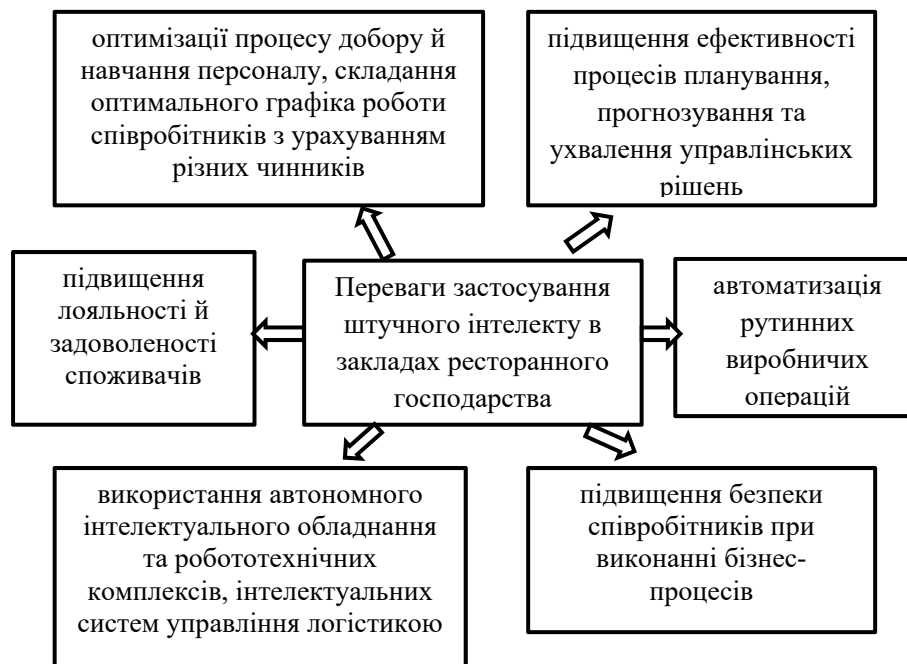


Рис. 1. Переваги застосування штучного інтелекту в закладах ресторанного господарства

Класифікація ШІ передбачає два типи: слабкий ШІ та сильний ШІ. У повсякденному житті є слабкі штучні інтелекти, наприклад, SIRI, ALEXA, GOOGLE ASSISTANT, оскільки вони не здатні мислити, але вже запрограмовані [3].

В Україні на законодавчому рівні в Концепції розвитку штучного інтелекту закріплено поняття «штучний інтелект» – це організована сукупність інформаційних технологій, із застосуванням якої можливо виконувати складні комплексні завдання шляхом використання системи наукових методів досліджень й алгоритмів оброблення інформації, отриманої або самостійно створеної під час роботи, а також створювати та використовувати власні бази знань, моделі ухвалення рішень, алгоритми роботи з інформацією та визначати способи досягнення поставлених завдань [4].

Науковці стверджують, що впровадження штучного інтелекту в ресторанний бізнес – реальний метод поліпшення його прибутковості, підвищення темпів розвитку підприємницького справи: поліпшення якості обслуговування клієнтів, збільшення продажів, скорочення втрат їжі, складання розкладу співробітників до прогнозування продажів й організації рекламних акцій. Нарешті, це мінімізує витрати на робочу силу та харчування й максимізує прибуток [8]. Застосування штучного інтелекту в закладах ресторанного господарства представлено на рис. 2.

Віртуальні приватні помічники. Сьогодні відвідувачі спочатку шукають дані про ресторани на смартпристроях, перш ніж дійсно планують відвідати їх. Функція віртуальних помічників



Рис. 2. Застосування штучного інтелекту в закладах ресторанного господарства

допомагає збирати широкий спектр важливої інформації з ресторанів, яка містить відстань, час очікування, меню, райони тощо, і показувати їх користувачам. Використання смартпристроїв у ресторанах зображено на рис. 3.

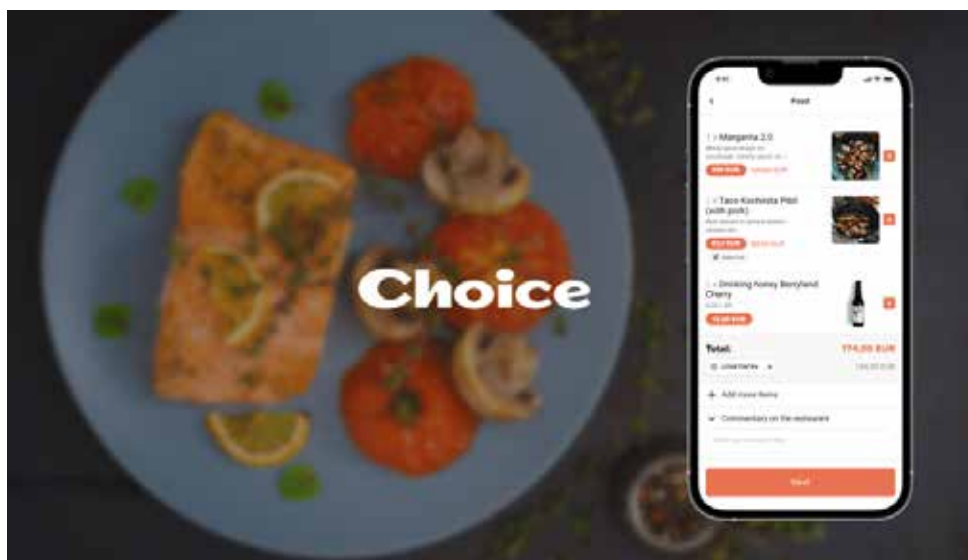


Рис. 3. Використання смартпристроїв у ресторанах

Комплексні закупівлі та інвентаризація. POS-системи, які частково збігаються в інвентаризації та купівельної спроможності, можуть підвищити ефективність і знизити втрати. У момент, коли ці функції включені в POS, вони можуть відстежувати й замовляти на основі фактичних продажів продуктів харчування, меню та рецептів. Порівнюючи цю інформацію з фактичними рівнями запасів, можна вирішити, чи дотримуються співробітники кухні рецептів і розмірів порцій і, можливо, виявити джерела відходів та крадіжок. Автоматизація цих завдань за допомогою інтегрованого рішення для управління рестораном, керованого штучним інтелектом, усуває таємницю, гарантує правильні рівні поставок та прибирає ще одну річ з вашого плану на день.

Роботи. Нині ресторани використовують роботів зі штучним інтелектом, щоб пришвидшити процес приготування та доставки їжі. Використання роботів на кухні ресторану привернуло загальну увагу після того, як мережа ресторанів Caliburger, розташована в Пасадені, привезла

на свою кухню робота на ім'я Фліппі. Робот мав приготувати більш ніж 300 бургерів за день. Пізніше вони запросили ще 50 роботів, які були доставлені до кінця 2019 року [5].

Кіоски. Зосередившись на завданні скоротити час очікування клієнтів і поліпшити їх гастро-експерієнс, ресторани нині впроваджують кіоски на базі штучного інтелекту. Вони спрощують процес замовлення для клієнтів і діють як торгова система. Коли замовлення надходить від клієнтів, вони відправляються з кухні, що, безумовно, скорочує час приготування й доставки їжі. Беручи до уваги психологію клієнтів і моделі покупок, вони роблять пропозиції дозамовити для підтримки імпульсивних покупок [6].

Обслуговування обладнання. У цьому напрямі ШІ почали застосовувати відносно недавно, проте в такому секторі ресторанного бізнесу майбутнє однозначно за розумною інноваційною системою. Останній здатен швидко визначити, якого технічного обслуговування або ремонтної роботи потребує заклад. Застосування штучного інтелекту економить фінанси й час підприємців, унеможливорює ризик зниження активності персоналу (що відбувається в разі виникнення раптової поломки, уникнути якої і допомагає машина) [7].

ШІ також відіграє важливу роль у гарантуванні безпеки та управлінні ризиками. Системи на основі ШІ можуть відстежувати й аналізувати безпекові камери, контролювати доступ до приміщень та виявляти підозрілі активності. Це допомагає запобігати можливим загрозам і забезпечувати безпеку гостей та персоналу.

Українські шеф-кухарі намагаються йти в ногу із часом та вже тестують чатботи зі штучним інтелектом. Євген Клопотенко приготував вечерю за рецептами ChatGPT (чатбот зі штучним інтелектом, розроблений компанією OpenAI). Це стала першою в Україні, а можливо й у світі, звана вечеря, яку згенерував штучний інтелект ChatGPT та Midjourney в авторстві з Євгеном. Штучний інтелект сформував 7 страв, які Євгену потрібно буде приготувати [8].

Також у меню ресторанів 1708 Pizza di Napoli з'явилася піца, рецепт якої згенерував штучний інтелект ChefGPT. Вона має назву Futuro. Піцу вже подають у закладах мережі Києва та Львова. До її складу входить томатний соус, пепероні, моцарела, карамелізована цибуля, в'ялені томати, рукола та пікантний козячий сир. Ідею ШІ втілив у життя шеф-кухар мережі [9]. Презентація піци, створеної штучним інтелектом, представлена на рис. 4.



Рис. 4. Презентація піци, створеної штучним інтелектом

Ще одна важлива сфера застосування ШІ – управління енергоспоживанням та оптимізація ресурсів. Інтелектуальні системи можуть автоматично регулювати освітлення, опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря, враховуючи поточне завантаження ресторану й погодні

умови. Це дає змогу знижувати витрати на енергію та зменшувати вплив на довкілля, що є важливим аспектом сучасного сталого розвитку ресторанного бізнесу [10–12].

Висновки. Оскільки ресторанне господарство продовжує розвиватися швидкими темпами, середньостатистичний ресторатор повинен адаптуватися, щоб відповідати мінливим очікуванням відвідувачів. Використання інструментів штучного інтелекту в закладах ресторанного господарства забезпечує конкурентну перевагу, покращуючи враження від споживання їжі, спрощуючи процес замовлення та підвищуючи рівень задоволеності відвідувачів. Як відомо, системи на основі штучного інтелекту можуть обробляти широкий спектр ресторанних операцій із підвищеною точністю та ефективністю – від керування завантаженими закладом до зменшення харчових відходів.

Використовуючи технології штучного інтелекту, оператори ресторанів можуть зосередитися на справді важливому – пропонувати виняткову їжу та послуги, одночасно будуючи успішний ресторанный бізнес на сучасному динамічному ринку.

Подальшим напрямом нашого дослідження буде більш детальний аналіз різних видів штучного інтелекту з можливостями ефективного застосування на підприємствах ресторанного бізнесу, а також викликів та обмежень щодо його застосування.

Список використаних джерел:

1. 7 найкращих інструментів ШІ для ресторанів (січень 2025 р.) URL: <https://www.unite.ai/uk> (дата звернення 12.02.2025)
2. Кирніс Н. Застосування штучного інтелекту в ресторанному бізнесі. *Ресторанный і готельний консалтинг. Інновації*. 2024 Том 7 № 1. С. 111–122.
3. Addanki, M., Patra, P., & Kandra, P. Recent advances and applications of artificial intelligence and related technologies in the food industry. *Applied Food Research* 2022. № 2, С. 100–126. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100126>.
4. Штучний інтелект в ресторанному бізнесі. URL: <http://surl.li/fkbpj> (дата звернення: 03.02.2025).
5. Antony, A., & Sivraj, P. Food delivery automation in restaurants using collaborative robotics. In International conference on inventive research in computing applications. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. 2018. № 11–12. С. 111–117. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA.2018.8597280>.
6. Штучний інтелект модернізує ресторанну індустрію. URL: <https://www.restorator.ua/post/artificial-intelligence-is-modernizing-the-restaurant-industry> (дата звернення 01.02.2025).
7. Як штучний інтелект змінює ресторанный бізнес. URL: <https://marketer.ua/ua/how-artificial-intelligence-is-changing-the-restaurant-business/> (дата звернення 04.02.2025).
8. Клопотенко С. В.. Звана вечеря створена штучним інтелектом. Instagram. URL: <https://www.instagram.com/p/Cpr1eUgsVyF/> (дата звернення 01.02.2025).
9. Наш Київ. В Україні з'явилася піца від штучного інтелекту. URL: <https://nashkiev.ua/news/v-ukraini-zyavilasya-pitsa-vid-shtuchnogo-intelektu> (дата звернення 0.02.2025).
10. Ilnytskyi V., Korsak R., Sichka I. Interregional European Integration, Trade And Tourism Cooperation Of The Countries Of Eastern And Central Europe (On The Example Of Ukraine And The Czech Republic). *European journal of transformation studies*. 2019. Vol. 7. № 1. С. 67–89.
11. Ilnytskyi V., Korsak R., Hodia I. Ukrainian-czech economic links: diplomacy, trade, and tourism (the beginning of the XXI century). *Baltic Journal of Economic Studies*. 2018. Vol. 4. № 4. Pp. 181–187.
12. Hushtan T., Korsak R. The Role of State Support in the Development of the Hotel and Restaurant Business in the Context of Crisis Phenomena and Eurointegration Processes. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2024. Vol. 10. № 2. Pp. 78–84.

Стаття надійшла до редакції 05.02.2025



T. Semko, O. Pakhomska
Vinnytsia Institute of Trade and Economics

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RESTAURANT ESTABLISHMENTS

Summary

The article explores that Ukraine's restaurant industry is rapidly evolving, and artificial intelligence is playing an increasingly important role in improving operations, customer experience, and overall efficiency. Artificial intelligence tools are changing the way restaurants work in today's competitive market, from optimizing kitchen processes to personalizing interactions with customers.

Artificial intelligence is interpreted as a system capable of perceiving its environment and applying measures to maximize the chances of successfully achieving its tasks, as well as interpreting and analyzing data in such a way that it learns and adapts as it evolves.

The introduction of artificial intelligence in the restaurant business opens up new prospects for its development, makes the industry more competitive and flexible in the market environment.

The use of artificial intelligence significantly improves communication with restaurant visitors. Chatbots and virtual assistants, equipped with artificial intelligence, are able to respond to the requests of guests of the establishment in real time, providing information about services, helping with reservations or solving other issues.

Such cooperation ensures a high level of service, which increases customer satisfaction and improves their experience.

As the restaurant industry continues to evolve, the average restaurateur must adapt to meet changing customer expectations. AI tools provide a competitive advantage by enhancing the dining experience, simplifying the ordering process and improving customer satisfaction.

AI-based systems can handle a wide range of restaurant operations with increased precision and efficiency, from managing busy dining rooms to reducing food waste.

By leveraging these AI technologies, restaurant operators can focus on what really matters – offering exceptional food and service while building a thriving restaurant business in today's dynamic marketplace.

Keywords: artificial intelligence, restaurant, robots, kiosks.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-18

УДК 664.6.

О. Є. Сокот, аспірант

ORCID: 0000-0003-0884-9917

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: oleksandr.sokot@tsatu.edu.ua

ОЦІНКА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ХЛІБА З ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА З ДОДАВАННЯМ ФАРШУ З ВІДВАРЕНИХ ГРИБІВ ГЛИВИ ЗВИЧАЙНОЇ

Анотація. Роботу присвячено дослідженню впливу додавання фаршу з відварених та подрібнених грибів гливи звичайної до тіста (заміна частки тіста) з пшеничного борошна в технології виготовлення хліба з метою підвищення біологічної цінності готового продукту. Збагачення біоактивними речовинами продуктів щоденного вжитку, зокрема хліба, є дуже актуальною темою досліджень, особливо враховуючи зростання кількості аліментарних захворювань. Гриби є одними з найкращих компонентів для рецептур оздоровчих продуктів завдяки своїм лікарським властивостям. Згідно з результатами проведених досліджень, введення грибного фаршу в кількості до 20 % загальної маси тіста має позитивний вплив завдяки покращенню органолептичних показників хліба. Доведено пряму залежність збільшення вмісту вологи у виробі відповідно до збільшення вмісту частки грибів, що пов'язано з високою водопоглинальною здатністю грибних полісахаридів. Визначено, що загальна кількість білків та ендopolісахаридів суттєво знижується зі зростанням вмісту грибів, а кількість мінеральних речовин зростає.

Ключові слова: грибний фарш, якість хліба, тісто, зберігання, уміст білків.

Постановка проблеми. Збагачення продуктів щоденного споживання біоактивними компонентами стало важливим напрямом у сучасному харчуванні, адже воно дає змогу підтримувати здоров'я населення та запобігти багатьом хронічним захворюванням. Одним із найбільш перспективних продуктів для таких інновацій є хлібобулочні вироби через високий рівень споживання. Джерело унікальних біоактивних компонентів – їстівні гриби, які на сьогодні є топовим інгредієнтом рецептур продуктів оздоровчого спрямування завдяки відомим лікувальним властивостям [1]. Відомо, що культивовані їстівні гриби та продукти їх переробки відрізняються цілим спектром лікувально-профілактичних властивостей: кардіопротекторними, імуномодулювальними, протипухлинними, гепатопротекторними та іншими [1–3]. Науковці пов'язують лікарські властивості дереворуйнівних грибів з наявністю в клітинах грибів есенціальних мікронутрієнтів та багатьох біологічно-активних сполук, зокрема специфічних полісахаридів (бета-глюканів) [4; 5].

Аналіз останніх досліджень. Темі підвищення біологічної цінності хлібобулочних виробів через збагачення складу біоактивними компонентами рослинної сировини присвячено роботи українських учених В. О. Губені, Л. Ю. Арсенєвої, С. А. Бажай-Жежерун та ін. [6–8]. Утім, тема використання їстівних грибів як складника рецептури хліба в Україні досліджена недостатньо. Натомість іноземні дослідники вивчають можливості використання грибів як функціонального компонента для випікання хліба вже понад 10 років. Позитивні результати науковців G. I. Okafor, X. Lu, V.O. Oyetao та інших надихають на пошук локальних рішень стосовно інновацій у класичному виробництві хліба [9–11].

Тому **метою дослідження** стала оцінка впливу вмісту фаршу з відварених грибів гливи звичайної на показники якості хліба з пшеничного борошна.

Основна частина. Грибну сировину (свіжі плодові тіла гливи звичайної штам 2301 ІВК) отримували від компанії ТОВ «Дамато» (м. Бровари Київської області; директор О. Тимо-



шенко) безпосередньо після збирання врожаю. Гриби відварювали в киплячій воді впродовж 5 хвилин, відкидали на металеве сито для стікання рідини. Після охолодження подрібнювати блендером до стану пасти. Підготовлений напівфабрикат зберігали за температури -18°C , а перед використанням розморожували на ситі для видалення води. Використовували лише тверду фракцію.

Готували хліб безопарним способом. Для тіста на 1 000 г пшеничного борошна брали 450 мл води. Сіль кухонну 15 г (1,5 %) розчиняли в частині води, необхідної для тіста. Дріжджі пресовані в кількості 30 г (3 %) також розчиняли в частині води та вводили в просіяне борошно. Замішували тісто в тістомісі планетарного типу. Вводили грибний фарш через заміну маси частини тіста відповідно до варіантів дослідів:

B1 – контрольний, відповідно до класичної рецептури хліба пшеничного, наведеної вище, без додавання грибів;

B2 – 100 г грибного фаршу та 900 г тіста (10 % грибів);

B3 – 200 г фаршу та 800 г тіста (20 % грибів);

B4 – 300 г фаршу та 700 г тіста (30 % грибів).

Технологічні операції замішування, формування, вистоювання проводили за температури 24°C та відносній вологості повітря 65 %. Випікали за температури 180°C у розігрітій духовій шафі з конвекційною вентиляцією.

Після випікання хліб охолоджували за температури 22°C без активної вентиляції впродовж доби, після чого відбирали зразки на визначення вмісту вологи, рН, уміст зольних речовин та ендополісахаридів за загальноприйнятими методиками [12]. Уміст білків визначали за методом К'ельдаля з використанням обладнання SpeedDigester K-425 [13].

Виготовлені зразки зберігали в холодильнику при 4°C , через три доби проводили повторне визначення рН.

Оцінку споживчої якості виробів проводили за відповідністю до вимог ДСТУ 7517:2014 «Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови» [14]. Згідно з нормативним документом для експертної оцінки якості виробів обрали такі показники: загальна форма, стан поверхні, колір, стан м'якшкості, смак, запах.

Оцінювання зразків проводили експертним методом за п'ятибальною системою. Для цього розробили систему бальною оцінки відповідності характеристик виробу вимогам ДСТУ 7517:2014 (табл. 1).

Залучені експерти (8 осіб) отримували підготовлені зразки під номерами та заносили бали й додаткові коментарі в підготовлені експертні листи відповідно до номеру зразка. Розшифровані дані обробляли в Excel (надбудові «Аналіз даних») для визначення середнього бала та інших показників статистики. Відповідно до зведених результатів будували профілограму оцінки якості досліджених зразків без урахування вагомості окремих показників.

Результати дослідження та їх обговорення. Вироби з додаванням грибного фаршу відрізнялися за кольором та структурою. Зауважимо, що в подальших дослідках процес перемішування грибної сировини та тіста має відбуватися більш ретельно, тому що в дослідних варіантах спостерігали нерівномірний розподіл компонентів, який погіршував вигляд виробів у розрізі (рис. 2).

За результатами оцінки органолептичних показників найвищий рівень визначено для хліба з додаванням 10 % грибів, який відрізнявся приємним ароматом, яскравим кольором скоринки, однак контрольний варіант поступався йому лише за смаком та кольором (рис. 2). Найнижчі бали за всіма показниками отримав зразок з додаванням 30 % грибів. Додавання 20 % грибної сировини значно покращувало смак виробу, надавало приємного специфічного аромату, але за іншими показниками поступався контрольному варіанту та з додаванням 10 % грибів. Цей факт свідчить про

Таблиця 1

Система бальної оцінки зразків хліба пшеничного з грибним фаршем з гливи

Бали	Показники					
	Форма	Поверхня	Колір	М'якушка	Смак	Запах
1	Не тримає форму, легко деформується	Дуже волога, слизька	Дуже темний, неоднорідний	З малими порами, слизька	Гіркий, неприємний	Різкий, неприємний
2	Погано тримає форму	Рихла, волога	Сіро-зелений	З малими порами	Солоний грибний	Різкий
3	Задовільно тримає форму	Гладка з незначними тріщинами	Сірий, неоднорідний	Середня пористість, нееластична	Чітко виражений грибний, солонуватий	Чіткий грибний
4	Добре тримає форму	Гладка	Світло сірий, однорідний	Середня пористість, еластична	Зі слабким присмаком грибів	Слабкий грибний
5	Добре тримає форму	Гладка без тріщин та підривів	Жовтий із сіруватим відтінком, однорідний	Добре розвинута пористість, еластична	Приємний, з легкими грибними нотками	Приємний, з легкими грибними нотками

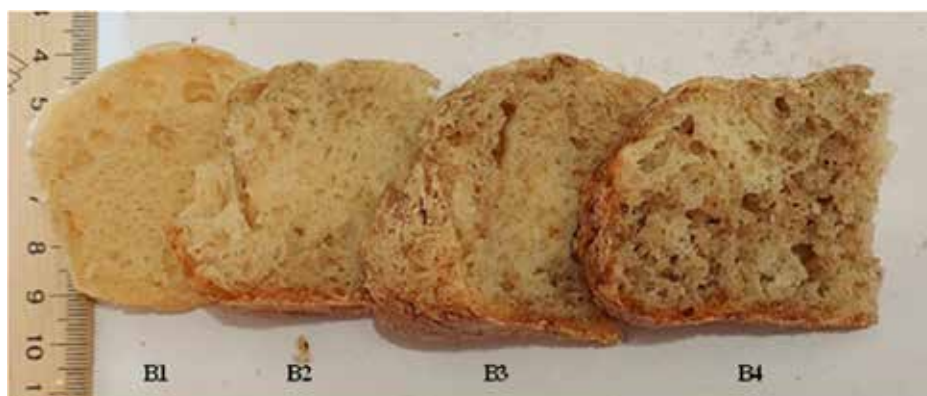


Рис. 1. Порівняння зразків хліба пшеничного з різним вмістом грибного фаршу з гливи

необхідність удосконалення технології підготовки грибного напівфабрикату, яке допоможе ввести збільшену кількість грибів без погіршення зовнішнього вигляду хліба та його структури.

Виявлено суттєвий вплив ($p < 0,05$) додавання фаршу на зміни хімічного складу дослідних зразків хліба (табл. 2).

Так, у дослідних зразках суттєво знижувалася кількість сухих речовин та відповідно підвищувався вміст води. Цей факт пов'язаний з високою вологоутримувальною здатністю грибної сировини. Якщо контрольний варіант задовольняв вимоги ДСТУ 7517:2014 за показником вмісту води, то всі варіанти дослідів перевищували норму на 4–12 %. Відповідно, терміни зберігання таких виробів мають бути досліджені додатково.

Кількість білків у контрольному варіанті була суттєво вищою проти досліджених ($9,89 \pm 0,16$). Найменший вміст білків ($4,79 \pm 0,03/100$ г) визначено в зразках хліба за додавання 30 % грибів. Такий результат ми пов'язуємо зі значним зменшенням білків пшеничного борошна, що, з огляду на останні тенденції в наукових пошуках «безглютенових» продуктів, є позитивною характеристикою.

Аналогічний тренд спостерігали за результатами визначення вмісту ендолісахаридів (далі – ЕПС), загальна сума яких зменшувалася з підвищенням вмісту грибів до варіанта

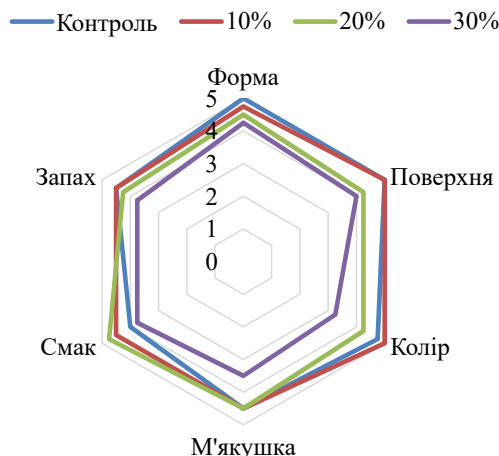


Рис. 2. Профілограми органолептичних показників зразків хліба пшеничного з різним вмістом фаршу з відварених грибів гливи

Таблиця 2

Хімічний склад основних інгредієнтів виготовлених зразків хліба пшеничного з додаванням грибного фаршу з гливи

Назва	Вміст, в 100 г продукту			
	Сухі речовини	Білок	ЕПС	Зола
Грибний фарш з відварених грибів гливи	8,48 ± 0,13	2,51 ± 0,05	9,02 ± 0,37	7,93 ± 0,98
Борошно пшеничне	86,99 ± 0,04	11,40 ± 0,25	68,61 ± 8,15	0,55 ± 0,03
B1 (к) 0 %	59,31 ± 1,05	9,89 ± 0,16	11,20 ± 2,73	0,73 ± 0,09
B2 10 %	54,07 ± 0,53	8,16 ± 0,027	8,57 ± ,47	0,68 ± 0,08
B3 20 %	49,19 ± 0,68	6,75 ± 0,054	5,52 ± 1,21	0,78 ± 0,11
B4 30 %	42,65 ± 1,21	4,79 ± 0,03	5,88 ± 0,62	0,93 ± 0,10
НІР _{0,05}	2,79	0,76	0,08	0,21

Примітка: ЕПС – ендолісахариди

з умістом 20 % грибного фаршу. Утім, за додавання 30 % грибів за отриманими даними вміст ЕПС підвищувався. Тож цей показник, як і якісний склад полісахаридів, потребує додаткового вивчення. За теоретичними розрахунками має відбуватися часткова заміна легко засвоюваних α -глюканів борошна на біоактивні β -глюкани грибів.

Уміст зольних речовин у варіантах дослідів суттєво не відрізнявся, хоча загальну тенденцію збільшення мінеральних компонентів спостерігали у варіантах з 20 % та 30 % грибів.

Показник рН лінійно збільшувався до зростання вмісту грибного фаршу. Так, залежність не змінилася після трьох діб зберігання, окрім зразка з додаванням 30 % грибного фаршу, де спостерігали зниження цього показника (рис. 3).

Мікробіологічні показники всіх варіантів задовольняли вимоги ДСТУ 7517:2014. Через три доби зберігання за температури 4 ± 1 °C не спостерігали збільшення вмісту мікроорганізмів. Утім, урахувавши перевищення вмісту вологи в контрольних виробках над нормативним показником, терміни зберігання інноваційних виробів мають бути досліджені додатково.

Висновки. Отримані результати свідчать про технологічні можливості введення цінної грибної сировини з гливи звичайної в рецептуру хліба пшеничного. Певні переваги за смаком і кольором визначено для хліба з 10 % грибів гливи, тоді як насиченим грибним ароматом відрізнявся варіант з 20 %. Однак необхідно провести додатковий біохімічний аналіз хлібобулоч-

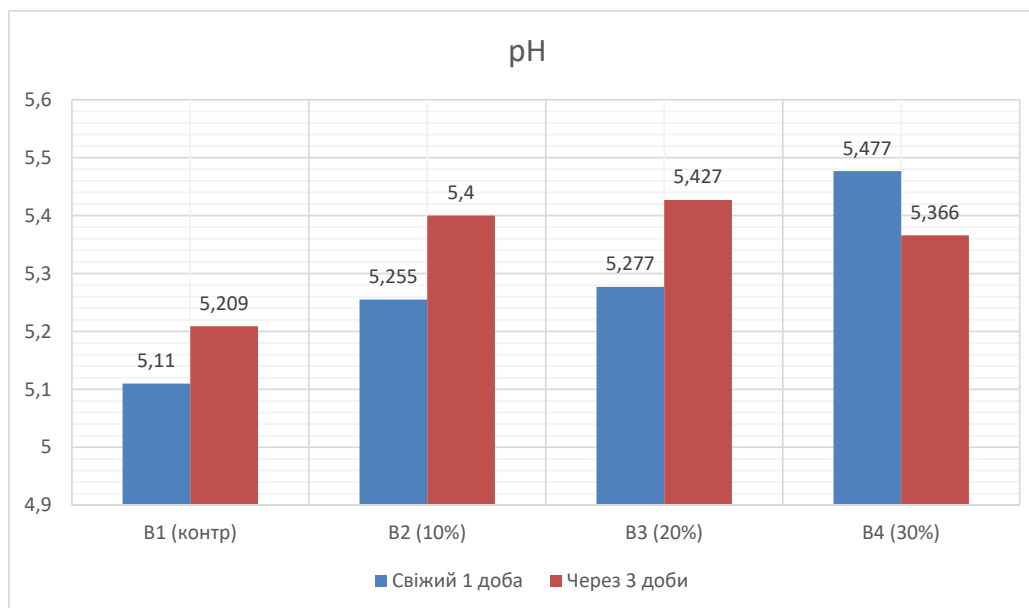


Рис. 3. Результати визначення показника рН хліба пшеничного з додаванням грибного фаршу свіжого та після трьох діб зберігання

них виробів із задовільною рецептурою для визначення чітких тенденцій змін їхньої біологічної цінності під впливом введення їстівних грибів або продуктів їх переробки.

Подяки. Щиро вдячні доктору сільськогосподарських наук Бандурі Ірині Іванівні за безцінні поради та експертну підтримку протягом усього дослідження. Також хочемо висловити подяку колективу Інституту продовольчих ресурсів за підтримку та співпрацю в проведенні цього дослідження. Їхня експертиза й ресурси були важливими для успішного проведення цієї роботи.

Список використаних джерел

1. Bains A. Bioactives from Mushroom: Health Attributes and Food Industry Applications. *Materials*. 2021. 14 (24), 7640. <https://doi.org/10.3390/ma14247640>
2. Cheung P. C. Mushrooms as Functional Foods. *John Wiley & Sons*. 2008. 293 с.
3. Wasser S. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2002. 60 (3). 258–274. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1076-7>
4. Bergendiova K., Tibenska E., Majtan J. Pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) supplementation, cellular immune response and respiratory tract infections in athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 2011. № 9 (111). 2033–2040. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1837-z>
5. Jesenak M., Majtan J., Rennerova Z., Kyselovic J. et al. Immunomodulatory effect of pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) in children with recurrent respiratory tract infections. *International Immunopharmacology*. 2013. 15 (2). 395–399. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2012.11.020>
6. Губеня В. О., Арсеньєва Л. Ю. Хлібобулочні вироби антианемічного призначення. *Наукові праці НУХТ*. Київ : НУХТ, 2012. Вип. 44. С. 98–104.
7. Бажай-Жежерун С. А. Збагачення хліба біоактивними харчовими компонентами рослинної сировини. *Інноваційний розвиток готельно-ресторанного Господарства та харчових виробництв* : матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 30 квітня 2021 р. Прага. С. 35.
8. Матияшук О. В., Фурманова Ю. П., П'яних С. К. Використання амарантового борошна в технології виробництва бісквітних напівфабрикатів *Науковий погляд в майбутнє*. Одеса, 2017. Вип. 2. Т. 6. С. 52–58. DOI: 10.21893/2415-7538.2017-06-2-103
9. Lu X., Brennan M. A., Guan W., Zhang J. et al. Enhancing the Nutritional Properties of Bread by Incorporating Mushroom Bioactive Compounds: The Manipulation of the Pre-Dictive Glycaemic Response and the Phenolic Properties *Foods*. 2021. 10 (4). 731. <https://doi.org/10.3390/foods10040731>



10. Okafor J. N. C., Okafor G. I., Ozumba A. U., Elemo G. N. Quality characteristics of bread made from wheat and Nigerian oyster mushroom (*Pleurotus plumonarius*) powder. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2012. 11 (1). 5–10.
11. Oyetayo V. O., Oyedeji R. R. Proximate and Mineral Composition of Bread Fortified with Mushroom (*Pleurotus ostreatus* and *Calocybe indica*). *Microbiology Research Journal International*. 2017. 19 (4). 1–9.
12. Бісько Н. А., Хареба О. В., Цизь О. М., Бандура І. І. Методика наукових досліджень у грибівництві. 2024.
13. Kumar H., Advanced Techniques of Analytical Chemistry: *Bentham Science Publishers*. 2022. Vol. 1. 148 с. <https://doi.org/10.2174/2405461507666220405113715>
14. ДСТУ 7517:2014 Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови (діє з 01.02.2015).

Стаття надійшла до редакції 25.02.2025 р.

О. Sokot

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

EVALUATION OF QUALITY INDICATORS OF BREAD MADE FROM WHEAT FLOUR WITH THE ADDITION OF MUSHROOM SEMI-FINISHED PRODUCTS

The work is devoted to the study of the effect of adding minced meat from boiled and chopped oyster mushroom to the dough (replacing part of the dough from wheat flour) in the technology of bread production in order to increase the biological value of the finished product. Enrichment with bioactive substances in products of daily use, including bread, is a very relevant topic of research, especially given the increase in the number of food-borne diseases around the world, which forces people to be more responsible about their nutrition. Mushrooms are one of the best ingredients for health product recipes due to their medicinal properties. The paper presents a description of experimental research on determining the features of making bread with the addition of boiled mushrooms. According to the results of research, the introduction of mushroom raw materials in the amount of up to 20% of semi-finished products from mushrooms has positive trends due to the improvement of organoleptic indicators, however, it is necessary to conduct additional biochemical analysis of samples to determine clear trends of changes in the composition of bakery products under the influence of the introduction of mushrooms or their processing products.

Keywords: minced mushroom, bread quality, dough, storage, protein content.



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-19

УДК 641.85:577.118

Л. В. Фіалковська, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-4353-0963

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

E-mail: larisa_fialkova@ukr.net

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ХАЛВИ

Анотація. У статті наведено дані дослідження технології виробництва солодошів єврейської кухні. Здійснено органолептичну оцінку якості готових виробів, розроблено рецептуру та вдосконалено технологію приготування солодошів єврейської кухні.

Мета статті – дослідити та розширити асортимент страв єврейської кухні, а саме покращити технологію приготування солодошів, підвищити їх смакові якості та біологічну цінність.

Національна кухня Ізраїлю є невід’ємною частиною середземноморської кухні. Варто зазначити, що Ізраїль – країна еміграції, тут проживає понад 70 національностей. Тому кухня настільки ж різноманітна, як і люди, що населяють цю державу.

Ключові слова: страви, єврейська кухня, технологія, якість, рецептура.

Постановка проблеми. Кожному з нас знайомий вираз: «Скільки людей, стільки думок». Якщо його перефразувати в контексті нашого дослідження, то звучатиме він так: «Скільки народів, стільки традицій». Такий вираз справедливий і для кулінарії. Кухня кожного окремого народу світу – це окремі кулінарні королівства, які надзвичайно цікаво досліджувати. Кожен народ земної кулі має власні традиції, історію і, звичайно ж, особливості національної кулінарії.

Гастрономічні звички й пристрасті кожного народу склалися протягом багатьох століть. Поступово створювалися національні кухні, які є невід’ємною частиною будь-якої національної культури. Сьогодні в кожного народу є національна кулінарія, для якої характерні свої, відмінні від інших національні страви. Це зовсім не означає, що національна кухня єчимось замкнутим, застиглим раз і назавжди. Кулінарія – одна з найменш ізольованих частин національної культури. Наявне взаємопроникнення і взаємовплив національних кухонь. Але це не виключає їхньої самобутності, бо кожен народ надає будь-яким стравам, зокрема створеним представниками іншої національності, свій особливий смак [1–3].

Аналіз останніх досліджень. Національна кухня є своєрідним захистом тих багатовікових традицій, які цінні для кожного, які зберігали й тримали в секреті, щоб передати їх наступним поколінням. Наприклад, в Італії не розкриють вам справжній секрет приготування смачної пасти, китайці не поділяться національним рецептом приготування страв зі зміїного м’яса або акулячого плавника, а про французьку кухню, яка здавна вважається найбільш аристократичною у світі, і говорити не варто.

Національна кухня виокремлює особливості кулінарних традицій і технологій, прийнятих для кожної країни або народу. Історичні передумови є особливістю будь-якої національної кухні. Велика частина страв, які належать до національних у тій чи іншій місцевості, готували до цього кілька століть назад. Минав час, рецепти вдосконалювали й доповнювали, щоб передати майбутнім поколінням кулінарні секрети. Найчастіше національні страви складаються з тих продуктів, які доступні в цій місцевості.

В основі кожної національної кухні лежать фактори, які формують підґрунтя національної кухні: економічні особливості країни; географічне положення й кліматичні умови; історичні



причини; релігійні й старовинні звичаї; етногенез; набір вихідних продуктів і їх поєднання; характерні способи, прийоми й поєднання кулінарного оброблення продуктів; використання спецій, приправ, соусів.

Умовно, за географічним розташуванням, національні кухні можна розділити на європейську, кухню Близького Сходу, американську, азійську, кухню Австралії та Океанії.

Узагальнюють також поняття «європейська кухня», об'єднуючи різноманітні кухні країн Європи, кухні Північної Америки, Австралазії, Океанії та Латинської Америки, які також зазнали європейського впливу.

Наприклад, єврейська кухня формувалася під впливом релігійних звичаїв і викликаних ними обмежень (кашрут), а також розселення євреїв по всьому світу, тобто страви єврейської кухні в різних країнах світу різняться. У самому ж Ізраїлі кухня об'єднує традиції ашкеназької, сефардської, північноафриканської, східної і середземноморської кухонь [3].

Національна кухня Ізраїлю є невід'ємною частиною середземноморської кухні. Варто зазначити, що Ізраїль – країна еміграції, тут проживає понад 70 національностей. Тому кухня настільки ж різноманітна, як і люди, які населяють цю державу.

Національна кухня Ізраїлю багата на солодощі [1–8].

Східні солодощі, зокрема карамельні вироби та горіхи, виготовляють на основі напівфабрикатів карамельного виробництва з різними добавками. До цієї категорії також належать ласощі, створені з ядер горіхів та кісточкових плодів, які покривають цукром або сіллю.

Козинаки – традиційний грузинський десерт, що складається з горіхів та меду. В Україні популярний полегшений варіант, у якому основним інгредієнтом є соняшникове насіння. Завдяки невисокій вологості (2–4 %) козинаки мають тривалий термін зберігання – від 3 до 8 місяців, залежно від рецептури та технології виробництва.

Зазвичай козинаки готують із соняшникового насіння, однак є варіанти з додаванням горіхів (арахісу, волоських, кедрових), а також кунжуту. Готові вироби мають квадратну або ромбоподібну форму, є твердими, склоподібними та складаються з карамельної маси з подрібненими або цілими ядрами горіхів, насінням соняшнику чи кунжуту. Залежно від використаних інгредієнтів козинаки можуть бути виготовлені з мигдалю, кунжуту, кеш'ю та інших видів горіхів.

Назва «грильяз» походить від французького слова *grillage* і належить до різновиду східної халви грубого помелу. Це вид цукерок, до складу яких входять обсмажені горіхи або мигдаль. Грильяз належить до категорії східних солодощів, які характерні для турецької, середньоазійської та кавказької кухонь. Вирізняється серед інших десертів унікальною рецептурою, формою та смаком.

Грильязні маси бувають двох основних видів: тверді й м'які. Твердий грильяз – це карамелізований цукор з додаванням цілих або подрібнених ядер горіхів, тоді як м'який містить уварену фруктову масу з горіхами. У деякі види грильязу додають мед, а горіхи іноді замінюють олійним насінням.

Східні солодощі, що містять карамель і горіхи, виготовляються на основі карамельних напівфабрикатів із різноманітними добавками. Також до цієї групи належать вироби з ядер горіхів і кісточкових плодів, покриті цукром або сіллю.

Парварда – це популярні східні солодощі, традиційний десерт узбецької та таджицької кухні. Вона становить льодяникову карамель, яку отримують шляхом витягування увареної маси із цукрового сиропу та лимонної кислоти, злегка присипаної борошном. Найчастіше парварда має форму подушечок, проте трапляється також у вигляді кульок, горішків або кружечків. Сьогодні її виробляють на підприємствах харчової промисловості.

Фешмак – це кондитерський виріб із тягнутої карамельної маси, що складається з тонких пучків ниток. Це традиційні азербайджанські солодощі, а в Туреччині відомі під назвою пішманіє, або «солодка вата». Фешмак має вигляд клубка тонких цукрових ниток, що складаються з обсмаженого в олії борошна та цукру. Його можуть доповнювати фісташки, кунжут, ваніль чи інші ароматизатори. За текстурою нагадує щось середнє між халвою і цукровою ватою, а за виглядом – скручений моток ниток. За смаком цей десерт дуже солодкий.

Ногоул кінзовий – це кондитерський виріб у вигляді круглих, горбистих білих грудочок. Його виготовляють шляхом обкатування насіння кінзи в цукровому сиропі та пшеничному борошні.

Шакер ванільний пендир – карамель, що має форму косих подушечок.

Східні солодощі, які належать до категорії м'яких цукерок, створюють шляхом додавання в цукеркові маси подрібнених горіхів, родзинок і цукатів.

Основними видами мас для таких виробів є:

- вершкова та цукрова помада, що використовується у виготовленні вершкового поліна, вершкових ковбасок, шербету із цукатами та горіхового шербету;
- збивна цукеркова маса, з якої роблять лимонну та мандаринову нуги, ойлу союзу та кос-халву;
- желейні маси, які отримують на основі крохмалю (наприклад, рахат-лукум) або фруктово-ягідного пюре (али).

На рисунку 1 зображені солодощі єврейської кухні – флуден.



Рис. 1. Флуден

Халва – традиційний східний десерт, що виготовляється на основі цукру, обсмажених горіхів або насіння, а також карамельної маси, збитої з піноутворювачем. Основою карамельної маси є уварений цукровий сироп із додаванням патоки.

Залежно від використаного виду олійного насіння розрізняють такі різновиди халви:

- арахісова;
- горіхова;
- соєва;
- кедрова;
- соняшникова;
- тахінна (з насіння кунжуту, також відома як сезамова);
- комбінована (з суміші різних видів насіння).

Як піноутворювач застосовують відвар мильного або солодкового кореня. До халви часто додають додаткові смакові інгредієнти, як-от ванілін, родзинки чи подрібнені горіхи.

Калорійність халви становить 469 ккал на 100 грамів.

На рисунку 2 зображена кунжутна (тахінна) халва з фісташками.



Рис. 2. Кунжутна (тахінна) халва з фісташками

Формулювання цілей статті. Мета статті – дослідити та розширити асортимент страв єврейської кухні, а саме покращити технологію приготування солодоців, підвищити їх смакові якості та біологічної цінності.

Основна частина. Для розуміння особливостей національної кухні вагоме значення має спосіб обробки продуктів

Страва – це поєднання продуктів харчування, які доведені до кулінарної готовності, порціоновані, оформлені й готові для споживання [9–21].

Обробка продуктів у процесі приготування страви за способом впливу на продукт ділиться на два основні види:

1. Фізична обробка – спосіб, за якому вплив на продукт здійснюється за допомогою зміни фізичних характеристик самого продукту, або середовища. Фізична обробка умовно поділяється на:

- механічну обробку – за якої продукт піддається прямому механічному впливу;
- термічну обробку – за якої продукт піддається впливу тепла або холоду.

2. Хімічна обробка – спосіб, за якого обробка продукту здійснюється шляхом впливу на нього хімічних речовин, внесених ззовні (соління, маринування), або в результаті природних біохімічних процесів, що відбуваються в продукті при певних умовах (квашення, бродіння).

Нами проведено удосконалення рецептури халви.

Для вдосконалення ми замінюємо в рецептурі ядра арахісу на ядра волоських горіхів, додаємо в'ялені вишні та ванілін. Удосконалена рецептура халви представлена в таблиці 1.

Технологія виготовлення халви

Приготування цукро-патокового сиропу. Цукрово-патоковий сироп готують звичайним способом, уварюючи до температури 130–140 °С.

Збивання маси. У збиті до пишної піни яєчні білки тонким струменем повільно вливають третину цукро-патокового сиропу, охолодженого до 80–90 °С, і збивають протягом 8–10 хв. Потім поступово вливають решту сиропу і продовжують збивання ще 18–20 хв до утворення пишної білої маси.

Після закінчення збивання в масу додають ванілін, подрібнене ядро волоського горіха та в'яленої вишні й усе ретельно перемішують.

Охолодження маси та формування виробів. Готову масу вивантажують на стіл для охолодження, стіл попередньо підсипають борошном. Потім масу ділять на шматки, обкочують

Таблиця 1

Удосконалена рецептура халви

Сировина	Масова частка сухих речовин, %	Витрати сировини, кг	
		у натурі	у сухих речовинах
Цукор білий	99,85	517,98	517,21
Патока	78,0	310,79	242,42
В'ялені вишні	94,01	7,19	6,76
Ядра волоських горіхів	94,00	200,00	188,00
Білок яєчний	12,00	57,00	6,84
Борошно пшеничне в/г	85,50	20,72	17,72
Ванілін	–	0,26	–
РАЗОМ		1113,94	978,95
ВИХІД	97,50	1000,00	930,00

у борошні та укладають у металеві прямокутні форми, попередньо вистелені пергаментним папером.

Масу залишають для охолодження та вистоявання у формах у приміщенні цеху, потім виймають з форм, відокремлюють від паперу, поверхню прикрашають половинками ядра волоського горіха та укладають у лотки.

У таблиці 2 представлені органолептичні показники халви.

Таблиця 2

Органолептичні показники халви

Показники	Значення
Органолептичні показники	
Форма та поверхня	Чиста поверхня, без тріщин та сколів
Структура та консистенція	Наявні шматочки горіхів та вишні
Смак і запах	Смак і запах горіхів, солодкий, приємний.
Колір	Світло-кремовий

На рисунку 3 показане зображення халви.



Рис. 3. Зображення халви

Висновки. Національній кухні єврейського народу притаманна обрядовість, багато страв готують спеціально до релігійних свят. Єврейська кухня є результатом багатой та бурхливої історії народу. З біблійних часів і до сучасної епохи євреї не мали своєї держави, а дванадцять

колін Ізраїлю були розсіяні по всьому світу. Через це єврейська кухня увібрала впливи різних країн, де проживала єврейська діаспора, але залишилася вірною релігійним законам і святковим традиціям.

Незважаючи на вплив інших національних кухонь, єврейська кухня зберегла свою унікальність. Тривале проживання євреїв у різних країнах призвело до збагачення смаків та різноманітності національних страв, поєднуючи різні кулінарні традиції.

Завдяки відносно ізольованому способу життя євреїв, їм вдалося зберегти у своїх традиційних стравах унікальний колорит, притаманний лише їхній культурі.

Особливе місце в єврейській кухні посідають солодощі.

Для забезпечення комфортного перебування туристів в Україні та поціновувачів єврейських страв необхідно відкрити ресторан єврейської кухні, який би вирізнявся дотриманням єврейських традицій і використанням відповідних продуктів при приготуванні страв.

Список використаних джерел

1. Саніна І. Л. Смак країни. Східні солодощі. Харків : Аргумент Принт, 2014. 72 с.
2. Лаврентьєва Л.П. Східні солодощі. Козинаки, грильяж, нуга, шербет, халва, пахлава, лукум. Київ : Клуб сімейного дозуга, 2015 р. 96 с.
3. Макарова О., Іоргачова К. Технологія кондитерського виробництва Одеса : ОНАХТ. 2011. 208 с.
4. Birsen Bulut-Solak. Chapter 16 – Food, nutrition, and health in Turkey, the European part. Editor(s): Alina-Ioana Gostin, Diana Bogueva, Vladimir Kakurinov. In Nutritional and Health Aspects of Traditional and Ethnic Foods, Nutritional and Health Aspects of Food in the Balkans, Academic Press, 2021, P. 263–278. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820782-6.00008-6>. (Дата звернення 02.02.2025).
5. Александрова В., Хаустова І., Шовкопляс Т. Розширення сфери додаткових послуг готельно-ресторанного бізнесу з метою підвищення його конкурентоспроможності. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»* (економічні науки). 2019. №. 24. С. 68–71.
6. Іванюта А. О. Кухні народів світу: опорний конспект лекцій підготовки бакалаврів усіх спеціальностей університету. Харків, 2021. 250 с.
7. Брайченко О. Україна. Їжа та історія. Київ, 2021. 189 с.
8. Національна кухня. URL: https://bankchart.com.ua/money/lady/statti/deserti_yih_vidi_i_vartist_dostavki (дата звернення: 21.01.2025).
9. Доцяк В. С. Технологія приготування їжі з основами товарознавства продовольчих товарів: посібник Київ, 2014. 396 с.
10. Клопотенко Є. В. Збірник рецептур страв. Львів, 2019. 279 с.
11. Королюк Т. А. Методи контролю харчових продуктів : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2017. 146 с.
12. Берзіна С. В., Яресковська І. І., Перминова С. Ю., Бузан Г. С., Ігнатенко А. В., Глущенко Р. О. Рекомендації щодо вимог з енергоефективності для закупівлі продукції державними органами. Критерії для енергоефективних закупівель. Під загальною редакцією д. т. н., проф. Сергійчука О. В. Київ, 2020. 104 с.
13. J.C. Wang A study on the energy performance of hotel buildings in Taiwan.
14. Energy Build., 49 (2012), pp. 268–275.
15. D.E. Santiago. Energy use in hotels: a case study in Gran Canaria Int. J. Low Carbon Technol., 16 (4) (2021), pp. 1264–1276.
16. S. Kasavan, R. Siron, S. Yusoff, M.F.R. Fakri. Drivers of food waste generation and best practice towards sustainable food waste management in the hotel sector: a systematic review. Environ. Sci. Pollut. Control Ser., 29 (32) (2022), pp. 48152–48167.
17. E. Jeong, S. Jang. Effects of Restaurant Green Practices: Which Practices Are Important and Effective? (2010) [Available from: <http://digitalscholarship.unlv.edu/hhrc/2010/june2010/13> Google Scholar.
18. D. Shiming, J. Burnett. Energy use and management in hotels in Hong Kong. Int. J. Hospit. Manag., 21 (4) (2002), pp. 371–380.
19. G. Xydis, C. Koroneos, A. Polyzakis. Energy and exergy analysis of the Greek hotel sector: an application. Energy Build., 41 (4) (2009), pp. 402–406.



20. R. Skapa. Reverse logistics as sustainable tool in tourism industry: scope and motivation. *Eur. J. Tour. Hosp. Recreat.*, 5 (1) (2014), pp. 139–158.
21. Y. Namkung, S. Jang. Effects of restaurant green practices on brand equity formation: do green practices really matter? *Int. J. Hospit. Manag.*, 33 (2013), pp. 85–95.

Стаття надійшла до редакції 13.02.2025 р.

L. Fialkovska

Vinnitsia Institute of Trade and Economics of State University of Trade and Economics

IMPROVEMENT OF THE RECIPE AND TECHNOLOGY OF HALVAH PRODUCTION

Summary

The article presents data on the research of the technology of production of sweets of Jewish cuisine. An organoleptic assessment of the quality of finished products was carried out, a recipe and an improved technology for preparing sweets of Jewish cuisine were developed.

The purpose of the article is to study and expand the range of dishes of Jewish cuisine, namely, to improve the technology of preparing sweets, increase their taste and biological value.

The national cuisine of Israel is an integral part of Mediterranean cuisine. It is worth noting that Israel is a country of emigration, more than 70 nationalities live here. Therefore, the cuisine is as diverse as the people who inhabit this state.

Keywords: dishes, Jewish cuisine, technology, quality, recipe.

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 25, том 1

Заснований у 1998 р
Виходить три рази на рік
Мови розповсюдження: українська, англійська

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А.І.

Підписано до друку 26.03.2025
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 18,6. Замов. № 0625/451. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022